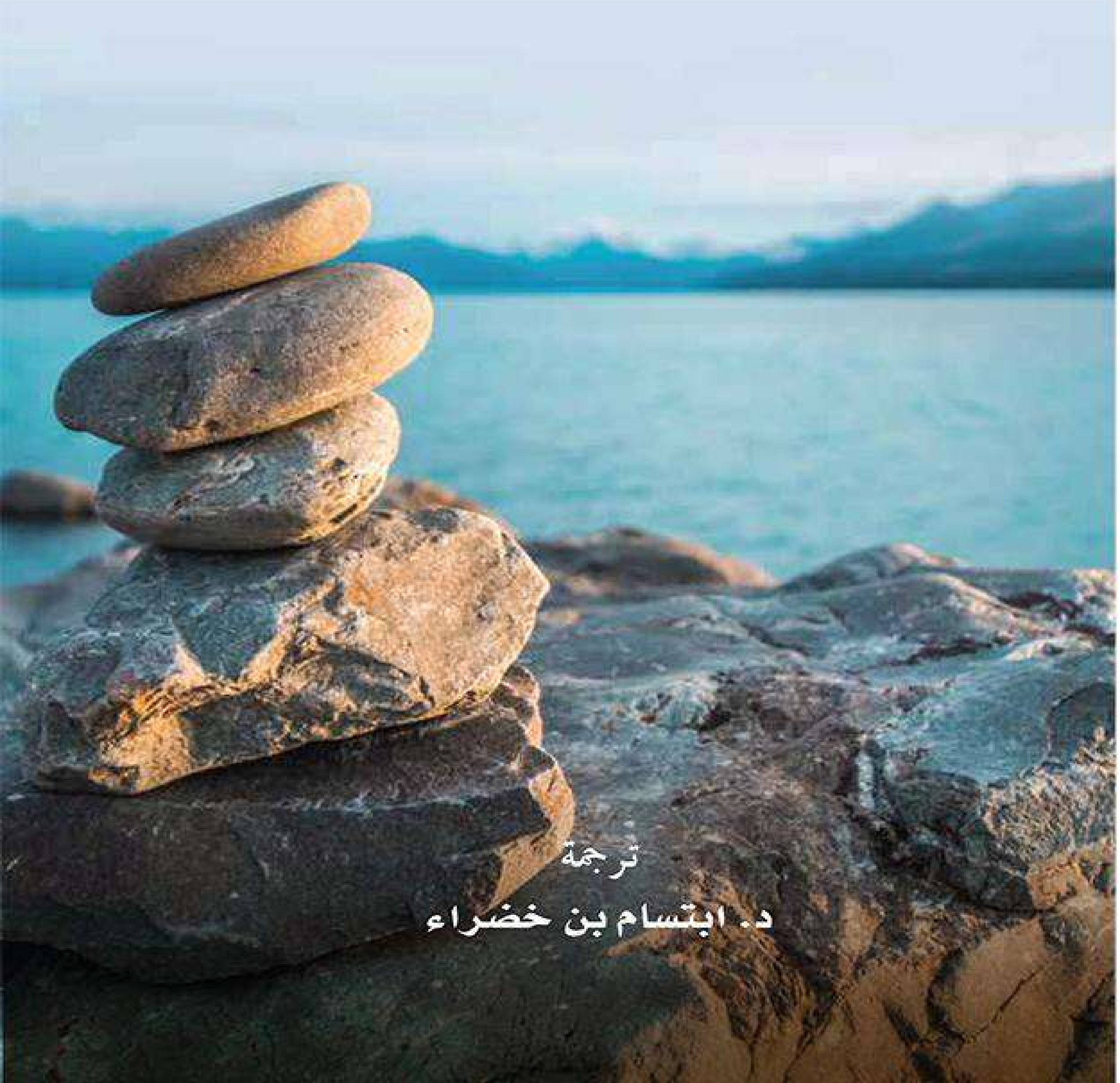
يان زالاشفتش

# كوكبٌ في حصاة

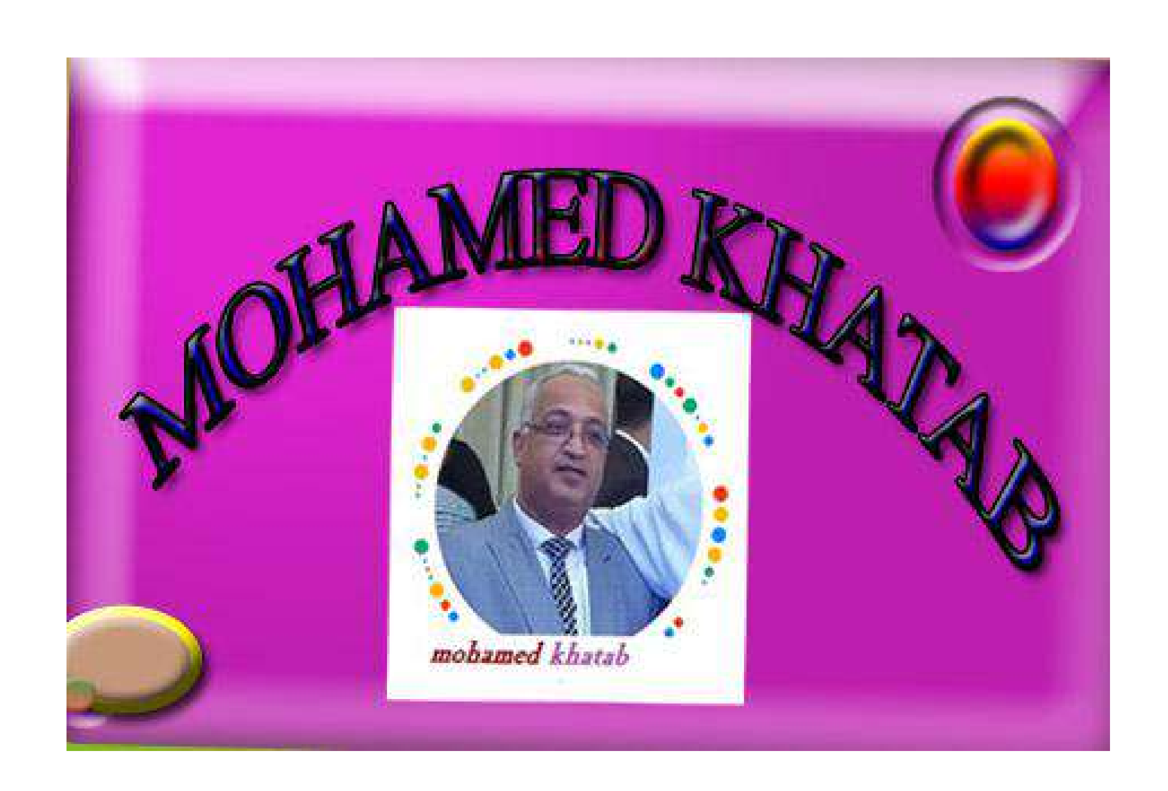
## رحلة إلى تاريخ الأرض السحيق



ترجمة

د. ابتسام بن خضراء

يان زالاشفتش



# كوكبٌ في حصاة
# رحلة إلى تاريخ الأرض السحيق



ترجمة: ابتسام بن خضراء

مراجعة: عمر الأيوبي



بيانات الفهرسة أثناء النشر

QE28.3 .Z35125 2019

Zalasiewicz, Jan, 1954-

كوكب في حصاة: رحلة إلى تاريخ الأرض السحيق / تأليف يان زالاشفتش؛

ترجمة ابتسام بن خضراء؛ مراجعة عمر الأيوبي. ـ ط. 1. ـ أبوظبي : دائرة الثقافة والسياحة، كلمة، 2019.

314 ص.؛ 20 سم.

ترجمة كتاب: The Planet in a Pebble: A Journey into Earth’s Deep History

تدمك: 978-9948-38-868-5

1- الجيولوجية التاريخية. 2- الصخور. 3- الأرض- تاريخ.

أ- بن خضراء، ابتسام. ب- أيوبي، عمر سعيد. ج- العنوان.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنجليزي:
Jan Zalasiewicz
The Planet in a Pebble: A journey into Earth’s deep history




www.kalima.ae

ص.ب: 94000 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة،
+ هاتف: 579 5995 2 971 Info@kalima.ae






# كوكبٌ في حصاة
# رحلة إلى تاريخ الأرض السحيق

# محتويات الكتاب

# شكر وتقدير

لقد ولد هذا الكتاب من حديث دار بيني وبين المحرّرة الفذّة في جامعة أكسفورد برس، لاثا مينون، التي ساعدتني بعد ذلك في الوصول إلى الحكاية الأخيرة في صيغتها الحاضرة. كما أسهم آخرون من جامعة أكسفورد برس، ومنهم إيما مارتشانت وكيت فاركوهار-تومسون، في مراحل مختلفة من هذا الكتاب، وقد أسعدني العمل معهم. أما تيم كولمان، وجين إيفانس، وسارة غابوت، وريسارد كريسا، وأليكس ماك، وستيوارت مولينوكس، وميلاني لينغ، وديريك رين، وأدريان رشتون، وأندي ساندرز، وسارة شارلوك، وثيس فاندنبروك، وديك ووترز، فقد قرؤوا فقرات من هذا الكتاب وأدخلوا تحسينات لافتة عليه (والشكر موصول كذلك إلى تيم كولمان، وسارة غابوت، وريسارد كريسا، وروب ويلسون، وثيس فاندربروك، لتزويدهم لي برسومات الكتاب أو المساعدة في الحصول عليها): لكل هؤلاء أزجي شكري الجزيل (إلا أنني أتحمل وحدي مسؤولية السهو والخطأ في هذه الرواية).

وبعد ذلك، فإن أغلب كتاب «الحصاة» هذا يشكّل نوعًا من خلاصة للعمل - خلاصة مؤقّتة طبعًا، الذي شاركتُ فيه، هامشيًا إلى حدٍّ ما، في جزء كبير من مهنتي التي وقفت فيها نفسي على حل تعقيدات إردِواز ويلز. وفي ذلك، ساعدني طاقم كبير من الزملاء القريبين مني والبعيدين الذين أدين لهم بوافر الشكر، لما

أعطوه لي من معلومات عن هذا النوع من الصخور الذي غُمِط حقه (اشتُهر في الغالب للأسف بأنه صخر رطب رمادي رتيب). وكثير من ذلك حدث وأنا أعمل مع هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية في رسم خرائط لهضاب وسط ويلز. هناك أولًا الجيولوجيون الحقليون الذي عملت معهم - ديك كيف، وديك ووترز، وجيري ديفيس، وديف ويلسون، وكريس فليتشر، وديف شوفيلد، وطوني ريدمان، وجون أسبدين، وآخرون. فلا يمكن المبالغة في قيمة المهارات والخبرات التي راكموها في عملهم سنة بعد سنة في مواسم طويلة من العمل الحقلي، وفي كل أحوال الطقس. ويبدو لي أن الرؤى التي قاموا بتطويرها بشأن هذا الشكل الصعب المعقّد للصخور (بصفتي مطلعًا عن قرب على عملهم)، عملًا من الطراز الأول فعلًا في الجيولوجيا البريطانية.

وكان لجين إيفانس وطوني ميلودوفسكي أدوار رئيسة أيضًا في ألغاز «الأتربة النادرة» وكثير غيرها؛ وبرعت سارة شارلوك في الأرغون المرتبط بالصخور؛ وديك ميريمان وبراين روبرتس في المعادن الصلصالية ومعادن الميكا؛ وكيث بول ومالاني لِنغ في كيمياء هذه الصخور؛ وأليكس بيج في تفسير الحياة والمناخ القديمين المستخلصين من هذه الصخور. وهناك كذلك عالم الأحافير، تلك الغابة غير المحدودة تقريبًا من الحياة البائدة، التي يعبرها بخطًى واثقة أمثال أدريان رشتون، ودينيس وايت، ومارك ويليامز، وباري ريكاردس، وديفيد لويديل، وستيف تانيكليف، ومايك هاو، وستيوارت مولينيوكس، وفيل ويلبي، وهاغ بارون. ومنذ انضمامي إلى العمل في جامعة ليستر، لم أزل على اتصال بهذا النوع من الجيولوجيا، بصورة غير مباشرة في الغالب، عن طريق أبحاث أمثال سارة غابوت، ومايك براني، ومايك نوري،

وجون هدسون، وستيف تيمبرلي، وديك ألدريدج، وديفيد سيفيتر، وأندريا سنيلينغ، وآنا تشوبي-جونز، وآن-ماري فيدي، وليندسي تايلر، وبوب غانيس، وثيس فاندنبروك. ومن الزملاء الآخرين في النطاق الأوسع لأبحاث ويلز نايجل وودوك، ودينيس بيتس، وريتشارد فورتي، وروبين كوكس، وهوارد أرمسترونغ، وديريك سيفيتر، وكل من كان يرتبط بالمؤسسات شبه الأسطورية (ولو كانت صغيرة)، مجموعة أبحاث لادلو، ومجموعة الغرابتوليت البريطانية الأيرلندية، ومؤخرًا مجموعة حوض ويلز. وبالعودة إلى تاريخي القديم، كان لجون نورتون ومن بعده هاري ويتينغتون دور أساس في سلوك هذا المسار.

لهؤلاء ولآخرين أشعر بالامتنان: فمعظم القصص المحكية في الصفحات التالية تخص هؤلاء - وبذلك فالكتاب مهدًى لهم.

إلا أن الحصى والصخور لها ماضٍ طويل في حياتي. فقد تحمل والداي وشقيقتي بكل صبر حفرياتي المبكرة عن هذه الأشياء - بل إنهم آزروني وشجعوني - على الرغم من الحجم الكبير للصخر الذي كنت أصرّ على حمله معي إلى منزل صغير. ومؤخرًا، تحمّلت زوجتي كاشا وولدي ماتيوس وطأة الوقت المستغرق في صوغ كلمات هذه الصفحات ثم إعادة صوغها (بالإضافة إلى الأسابيع والشهور الطويلة التي أمضيتها في العمل الحقلي في هضاب ويلز). لهؤلاء أيضًا أنا ممتن امتنانًا أبديًّا.

# دليل اللوحات

اللوحة الأولى:

إردِواز ويلز مع «أضلاع» طبقات صلبة من «A»
الحجر الرملي، تحيط به حصًى تشكلت من تلَفه بالبحر.
من خليج كلاراش في ويلز.

الجانب السفلي من سرير الحجر الرملي يبين «B»
أشكال الطابع البوقي - تقوّرات التحاتِّ المملوءة
بالرواسب التي تشكلت نتيجة دوّامات دوّارة في تيار
العكارة.

اللوحة الثانية:

النوعان الرئيسان من قاع البحر «B»و «A»
وحدة من الأحجار ،(Aالسيلوري. في الجهة اليسرى (2
الطينية الداكنة الغنية بالمواد العضوية والدقيقة الرقائق،
محاطة من الأعلى والأسفل بغضارياتِ عكارةٍ رمادية
متجانسة مرسَّبة بسرعة، مستقرة في قاع بحرٍ ناقص
الوجه الآخر لقاع (Bالأكسجين. وفي الجهة اليمنى (2
البحر السيلوري: طبقة شاحبة من الحجر الطيني فيها
جحور داكنة واضحة، تمثل قاع البحر المشبع
بالأكسجين، استعمرتها ديدان وكائنات أخرى متعدّدة
الخلايا.

مجموعة متنوّعة من الغرابتوليتات «F» إلى «C»
الأحفورية، محفوظة في تراكيب مختلفة من الكربون
الأسود اللامع، والبيريت الذهبي الشاحب، وأكاسيد الحديد
البرتقالية إلى البنية. والقطعة الشاحبة الواضحة التي
تحيط بالغرابتوليت في «F» ناتجة من التغيّر الكيميائي 2«
للصخر الطيني حول الأحفور.

عُقَيدات المونازيت. صورة بالمجهر «C» إلى «A»
البصري (A) لشريحة رقيقة من إردواز ويلز، تُظهِر (3
المونازيت بمثابة ثلاث قطع بيضوية سوداء في الطبقة
الرقائقية الداكنة. والصورتان الأكثر تفصيلًا (B و C)
أخذتا باستخدام مجهر مسح إلكتروني؛ ويَظهر المونازيت
ساطعًا جدًّا لأن بنيته الذرية الكثيفة تعكس إلكترونات
أكثر مما يعكسه محيطه في الصخرة.

اللوحة الثالثة:

نوع من (E) طيَّة في صخر ويلز الطيني. و(3 «3D»
الشقّ التكتوني (الإردوازي) ينشأ في الصخر الطيني
نتيجة الضغوط الهائلة المطبقة على الصخر - الشقّ هو
البنية شبه العمودية التي تقطع التطبّق الرسوبي الباهت
شبه الأفقي.

اللوحة الرابعة: ميكا سميكة تكتونيًّا على شكل يشبه البرميل «A»
(بعرض يقل عن مليمتر واحد)، كما نراها بمجهر المسح

الإلكتروني.

غرابتوليت بحجم عود الثقاب تحيط به «هالة» «4B»
من الميكا الليفية (مشوبة باللون البرتقالي نتيجة أكاسيد
الحديد)، تشكّلت حول هذه الأحافير في أثناء تكوّن
الجبال.

سطوح مصقولة لخامات فلزات «Eإلى «4 «Cمن «4
(بيريت، وكالكوبيريت، وغالينا) كما تُرى باستخدام
(مجهر الضوء المنعكس (التقط الصور تيم كولمان.

# تمهيد

ليست إلا حصاةً عادية. واحدة من ملايين الحصى التي تندفع إلى الأمام وإلى الخلف على شواطئ العالم، أو تتكوّم على ضفاف الأنهار، أو لعلها تحدد طريق حديقة منزلك. إلا أن تلك الحصاة، كنظيراتها التي لا تحصى، مَحْفَظَةٌ للقصص. فهناك ما لا يعد من القصص المتراصّة بشدة داخل تلك الحصاة، وهي أكثر تراصًّا من سمك السردين في المعلبات.

إن حجم هذه المحفظة للقصص مضلّل. فالقصص ضخمة، وتصل إلى مجالات بعيدة عما عهده الإنسان؛ بعيدةٍ حتى عن خياله. فجذورها تمتد إلى زمن تشكّل الأرض - وأعمق من ذلك إلى ولادة وفناء نجوم قديمة. كما يمكن أن نلمح شيئًا من مستقبل الأرض تحت خطوطها الناعمة. فالمعارك، والجرائم، والموت المفاجئ، تجدها فيها، وكذلك تجد عصورًا من السكون، وتجد خدعًا جزيئية يلهث وراءها الحاوي؛ هناك الكثير من البرودة في هذه القصص، كما هناك حرارة تفوق حرارة جوف شمسنا.

إن العقل البشري يحب تلفيق القصص. ففي وسعه أن يأخذ أي غرض مبتذل ويحيك حوله القصص؛ من قصص الجنيات والأميرات، والسحرة والعفاريت، والإمبراطوريات البائدة. إنا نولد رواة قصص، ومن المرجّح أننا كنّا كذلك حتى في عصر إنسان ما قبل التاريخ.

والقصص التي سنرويها الآن ليست أقل حيوية من تلك القصص، بل هي لمحات من حقيقة هذه الأرض والكون المحيط بها. إنها قصص لا تُعنى بما يُتخيَّل ببساطة عن ماضي الأرض، بل بما يمكن استنتاجه من الأدلّة التي نراها، أو نقيسها، أو نكتشفها، أو نحلّلها، أو نقارنها.

وهكذا فإن القصص المنسوجة قصص جميلة، ومفاجئة، على غرار القصص المأخوذة من الخيال. لكنها مقيّدة بتلك الأدلّة، الأدلّة التي غالبًا ما نحصل عليها بالإبداع، والصبر، والمثابرة الجادة - وأحيانًا بشيء من الدهاء والحظ أيضًا. ولا يمكن لهذه القصص أن تتضمن أي شيء يمكن إثبات عدم صحّته في وقت رواية القصة. وهذا لا يعني أن الصور التي نقدّمها عن ماضي العالم صور صحيحة بالضرورة. إلا أنها التفسيرات الأكثر منطقية التي استطعنا الوصول إليها؛ إنها صور واضحة إلى حدٍّ ما، وتقريبية إلى حدٍّ ما، وتعتمد على طبيعة الأدلّة.

ونحن لم نولد رواة قصص وحسب. بل نحن حاذقون بالتقنيات؛ فلدينا وسائل مبدعة للكشف، والتحليل، والقياس، تبدو بالنسبة لي أقرب إلى الخوارق. ومن الجمع بين سرد القصص وسحر التقنيات، يمكن إعادة رسم الماضي البعيد، لنراه حيًّا أمامنا. فبمقدور المرء أن يتناول حصاة من الحصى، ويكبرها إلى حجم جبل (أو أكبر من ذلك) باستخدام ما لدينا من آلات مذهلة، ويتتبّع تقريبًا عددًا غير محدود من الدروب داخلها، يوصله كل منها إلى زاوية مختلفة من البيئة الأرضية - أو غير الأرضية - البائدة.

ومعظم هذه القصص مدفون في غابات من الأوراق المطبوعة في مكتباتنا - أو تشكّل في أيامنا الحاضرة جزءًا من المعلومات الإلكترونية على الشابكة التي تحيط بنا من كل جانب.

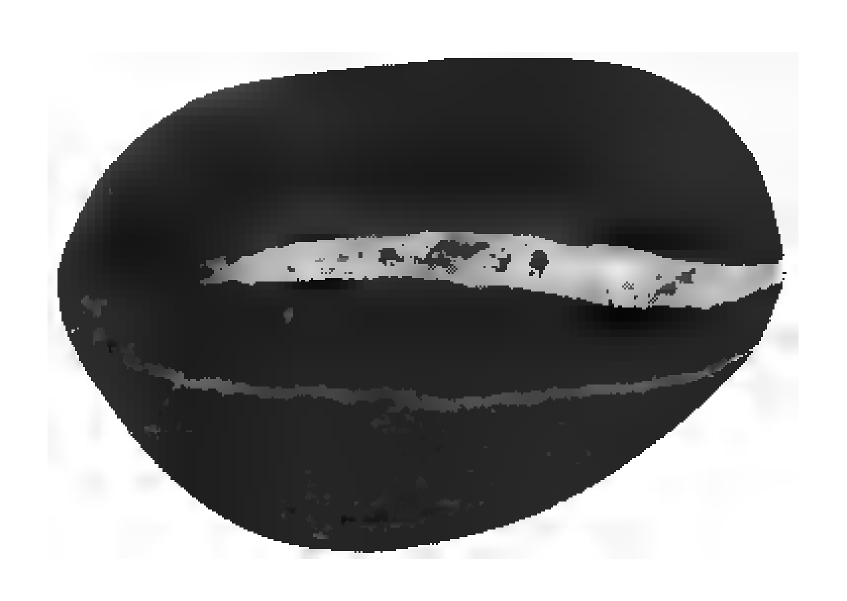
وفي هذا الكتاب ثلاثة عشر دربًا فقط من تلك الدروب التي يمكن تناولها في تلك الحصاة وحدها. لكن لماذا ثلاثة عشر؟ حسنًا، إنه يبدو رقمًا مناسبًا لربط القصص بشيء ما، إنْ لم يكن حلقة فهو على الأقل سلسلة تمتد من البدايات الأولى حتى المستقبل البعيد. إنني جيولوجي بريطاني، وبدايات الجيولوجيا المنظمة في بريطانيا (وربما يسع المرء أن يقول في العالم) ابتدأت يوم الجمعة في 13 تشرين الثاني/نوفمبر 1807، في المقهى الماسوني، في شارع غريت كوين، في ساحة لينكولنز إن، حيث ولدت الجمعية الجيولوجية بلندن. وكان هناك ثلاثة عشر عضوًا أصيلًا في تلك الجمعية. ويمكنك أن تَعُدَّ ذلك اعتقادًا بخرافة عكسية[1]. فقد كان الرقم ثلاثة عشر رقم الحظ في ازدهار العلوم.

والحصاة - أي حصاة؟ - ومن أين أتينا بها؟ ما هي الحصاة التي ربما آخذها من جزيرة صحراوية، لتكون زينةً وتذكارًا أضعها بين الأصداف المنمقة والقطع الخشبية المنحوتة وقشور جوز الهند؟ إنها حصاة من الإِرْدِوَاز الرمادي من شواطئ ويلز - أو ربما من مكان ما مثل آبريستويث، أو كلارش، أو بورث، على ساحل ويلز الغربي - أو قد تكون من الأقاليم الداخلية، من ضفاف الأنهار التي تكسوها الحصى؛ كما في نهر إيستويث، ونهر رايدول، وبحيرة كلاروين. لقد أمضيت أكثر من نصف عمري وسط صخور منحدرات ويلز وجروفها وسفوح تلالها، محاولًا تفسير بعض قصص التاريخ القديم التي تضمها. فهذه الحصى في

شواطئ ويلز وأنهارها تكونت في غالبيتها من الصخور التي حُتّت من هذه الجروف والمنحدرات. وغالبًا ما يكون لهذه الحصى شكل القرص، ويمكنك أن تضعها في راحة يدك بسهولة - وإذا رميتها مسطحةً على الأمواج فسترتدّ وتنزلق على صفحة الماء.

وفي يوم ماطر، أو عندما تكون الحصى مغمورة بالماء عند حافة البحر، تظهر ألوانها؛ فترى فيها ظلال اللون الرمادي والأزرق المزرقّ، وغالبًا ما تكون في شرائط دقيقة. وبعض هذه الشرائط تقطعه خطوط بيضاء رفيعة، كأنها مسارات برق متجمّدة صغيرة، أو قد يكون هذا الصخر أحيانًا مرقطًّا باللون الذهبي أو الأحمر. ولكل من أشكال الحصى وأنسجتها ولونها قصة تُروى.

وقد حان الوقت لاختيار حصاة جميلة منها - ربما تكون تلك... التي هناك! - وسرد القصة من البداية.




1

# الغبار النجمي

## جَرد

ما الحصاة؟ إنها قطعة من الصخر صقلتها الأمواج، وبنيةٌ معدنية معقّدة، وقطعة صغيرة جدًّا من الشاطئ، وهي أيضًا محفظة للتاريخ. لكل مظهر من هذه المظاهر للحصاة قصته الخاصة به، وهي ما سنأتي على ذكرها لاحقًا. لكن الحصاة، وجهة نظر أخرى، مجموعة من الذرات من أنواع مختلفة - من الكثير جدًّا من الذرات - ولعل وجهة النظر هذه هي أفضل وسيلة نبدأ بها حكايتنا. فعند النظر في الحصاة في هذا المستوى، نرى الأمر شبيهًا إلى حدٍّ ما بأخذ ما يعادل كيسًا كبيرًا من السكاكر المختلطة، ثم فصل بعضها عن بعضها الآخر، بحسب نوع كلٍّ منها. لكن ما مقدار كِبَر هذا الكيس؟ أو بعبارة أخرى: كم عدد الذرات الموجودة في حصاتنا؟

هناك معادلة بسيطة لتقدير عدد الذرات الموجودة في قطعة ما من أي شيءٍ. وكان أول من لمح فكرتها الأساسية أماديو أفوغادرو (Amadeo Avogadro)، كُونْت كويريتا وشيريتو في بيدمونت، في إيطاليا الحالية: وهو باحث، وعالم، وأستاذ (مع أنه انقطع عن التدريس مدةً وجيزة بسبب ميوله الثورية والجمهورية - وذلك أمر ينمّ عن شيء من عدم الحكمة عندما يكون الملك على مقربة). لقد كان أفوغادرو مهتمًّا بكيفية ارتباط الجُسيمات (من

ذرّات وجُزَيْئات) في مادّة ما بحجم تلك المادّة وكتلتها. وبعد سنوات من رحيله، نقّح علماء آخرون دراساته المبكّرة، فكانت ثمرة ذلك، بعد نحو قرن من الزمان، التوصّل إلى ما دُعي باسم ثابت أفوغادرو. وهكذا يوجد فيما ندعوه المُولَ من أيِّ عنصرٍ عددٌ يربو قليلًا على 600.000 مليون مليون مليون ذرّة - أو $6.022 \times 10^{23}$ ذرة، إذا كتبناه بصورة مختصرة. والمُول هنا ليس خُلْدًا، أو شامةً،[2] بل هو الوزن الذري لأي (mole) عنصر مقدَّرًا بالغرامات. لذا فإن مول الأكسجين يساوي 16 غرامًا، لأن وزنه الذري 16، إذ تحتوي ذرة الأكسجين على ما مجموعه 16 بروتونًا ونيوترونًا في نواتها.

ونعلم من ميزاننا المنزلي أن حصاتنا تزن نحو 50 غرامًا. ونصفُ هذا الوزن تقريبًا يتكوّن من الأكسجين، وغالبية نصفه الآخر من السليكون (وزنه الذري 28) والألمنيوم (وزنه الذري 27) مع مقادير قليلة من عناصر أخرى، غالبيتها أثقل بعض الشيء. وبذلك يمكننا منطقيًّا أن نقدِّر متوسّط الوزن الذري بنحو 25. ولذلك تحتوي حصاتنا التي يبلغ وزنها 50 غرامًا تحتوي رقمًا من الذرات من مرتبة مليون مليون مليون مليون ذرة (أو نحو ذلك). فلو كانت ذراتنا سكاكر - سكاكر جميلة ملفوفة ولكلٍّ منها طعمٌ مختلف - فإن الكيس الذي سنحتاج إليه ليتسع لها سيكون تقريبًا بحجم القمر[3]. وليس ذلك إلا مقياسًا لضخامة العالم دون المجهري الذي يحيط بنا في كل مكان. وقد كان معروفًا أن ويليام بليك (William Blake) رأى العالم في حبةٍ من رمل - وكان حدسه في ذلك مجرد إظهار مبلغ عِظَم العالم، أو شيء من ذلك القبيل.

لذلك لدينا فيض من الذرات. لكن ما نوعها؟ هلمُّوا لنجردها. هناك اليوم آلات تعُدُّ الذرات. ووتستطيع النماذج باهظةُ الأثمان منها، ذات النوعية العالية جدًّا، القيام بالعدِّ ذرةً ذرة تقريبًا. لكن حتى عدَّاد الذرات المخبري - وتحديدًا مطياف الأشعة السينية التألقية (X-ray fluorescence spectrometer) - سيعطينا تقديرًا أوليًّا منطقيًّا. فهو لا يعُدُّ الذرات واحدة واحدة، بل هو يقيس نِسَب الأنواع المختلفة من الذرات، أي للعناصر المختلفة. ولاستخدامه عمليًّا، على المرء أولًا أن يضحّي بالحصاة. وهذا ما لن نقوم به أبدًا في هذه المرحلة المبكرة من حكايتنا. لذلك سنضحي بحصاة مجاورة لحصاتنا بدلًا من التضحية بها نفسها، وستفيدنا النتائج بالقدر ذاته. والإردواز، لمثل هذه الأغراض هو صخر الإَرْدِوَاز نفسه (على الأقل إذا أُخِذ من طبقة الجرف نفسها، على الشاطئ نفسه).

نقوم بسحق حصاة التضحية، أو نضغطها في حبيبة، أو نصهرها في كُرَيَّةٍ صخرية زجاجية. ثم يُطلَق شعاعٌ عالي الطاقة من الأشعة السينية على العيّنة، فتُخرِج هذه الأشعة بعض الإلكترونات من مداراتها. وتأتي إلكترونات أخرى فتدخل تلك المدارات لتحل محل سابقاتها، وتصدر إشعاعات فوتونية في أثناء ذلك، فوتونات ذات نمط من الطاقة يميّز كل عنصر، وبالتالي يمكن أن تشكّل «بصمة» لكل عنصر. وتُكشف هذه الفوتونات، ومستويات طاقتها، وتُقاس بدقة بالغة، وبذلك يمكن قياس نِسَب العناصر في العيّنة، بما يصل إلى حدود اثنين في المئة أو نحوها.

بعد ذلك سيكون لدينا، وكأننا محاسبو ذرات، لائحة بنتائج القياس للحصاة، بنسب مئوية تقريبية. وفي كشف الحساب، يَظهر

الأكسجين بوصفه النوع الأكثر شيوعًا بين الذرات. ولأنه يستحوذ على نحو نصف كتلة الحصاة، فإن نسبته في هذه القطعة الصخرية أكبر من نسبته في الغلاف الجوي. وربما يكون ذلك مفاجئًا لك. حسنًا؛ لا يمكننا استخدام الحصاة بمثابة قارورةَ أكسجين. وهذا مما يؤسف له، فلو كان بمقدور أحد أن يقوم بذلك، لتمكن روّاد الفضاء من التنفس بسهولة على سطح القمر، أو على سطح المريخ. إلا أن الأكسجين حبيس، فهو مربوط بإحكام بالسليكون والألمنيوم لتشكيل البنية المعدنية للصخرة، على شكل سليكات مختلفة الأنواع. وسنخوض كثيرًا في أمر هذه السليكات قريبًا. لكن الآن يكفينا أن نقول إن في ذلك الهيكل المعدني متّسعًا أيضًا لمكوّنات رئيسة أخرى، يزن كل منها نسبة مئوية ضئيلة: الحديد والمغنزيوم، والبوتاسيوم والصوديوم، وكذلك التيتانيوم. ثم هناك، بنسبة تقل عن 1%، الكلسيوم والمنغنيز والفوسفور. ويمكن للمرء كذلك أن يضيف أيضًا النسبة الصخرية التي يدعوها المحلّل «الفاقد بالحرق»، وهي النسبة التي تطرد عند وضع مسحوق الصخرة في الفرن؛ وغالبيتها من الماء، مخزن الهيدروجين الرئيس في الصخر (مرتبطًا حتمًا بالأكسجين)، بالإضافة إلى آثارٍ دقيقة للكربون.

نصل الآن إلى العناصر النادرة في الحصاة، وهي العناصر التي تقاس نسبها بأجزاء في المليون. ولعلها نادرة، لكنها متنوّعة بكل تأكيد؛ وهناك مجموعة واسعة منها. بعضها مألوف لنا، يزن نحوًا من بضع مئات إلى بضع عشرات جزء في المليون - كالفاناديوم، والكروم، والنحاس، والزنك، والرصاص، والباريوم؛ وبعضها الآخر أقل شهرة من تلك - كالروبيديوم، والسترونتيوم، والإيتريوم، والسيريوم، واللنثانوم، والنيوبيوم. وقد نجد عنصرًا أو

عنصرين من العناصر الخبيثة - كالزرنيخ مثلًا. وبعض الذرّات هنا مشعّة. وهي الذرّات التي تكون فيها نسبة النيوترونات والبروتونات في النواة غير صحيحة تمامًا، فيكون فيها عدم استقرار داخلي، أو توتّر نووي. وهذا ما يجعل الذرّة في آخر المطاف (بعد ميكروثوانٍ، أو بعد مليارات السنين، بحسب نوع الذرّة) تنفصل بعضها عن بعض، فتنقسم إلى ذرات أصغر وإلى شظايا (إلكترونات عالية الطاقة، أو أشعة غاما، أو أزواجًا مترابطة من النيوترونات والبروتونات) نخشاها بوصفها إشعاعًا. هناك على سبيل المثال اليورانيوم، الذي لا تقل أنواعه عن ستة عشر نوعًا مختلفًا، أو نظائر (كلها نظائر مشعة)، وكلٌّ من هذه النظائر له عدد مختلف من النيوترونات يرافق العدد الثابت من البروتونات الــ 92. ويندرج في هذه الفئة الثوريوم أيضًا، وبعض نظائر البوتاسيوم والساماريوم والروبيديوم.

هناك عناصر أشد ندرة نجدها في الحصاة، وهي موجودة بأجزاء في المليار. لكن للكشف عن هذه العناصر نحتاج إلى جهاز أكثر حساسية - مطياف الكتلة (mass spectrometer)، تقوم مغانط فيه بدفع بلازما مسرَّعة من مادة الحصاة، فتُنخل سيول من الذرات المشحونة، أو الأيونات، بدقة بحسب أوزانها بينما ترسل محلّقة إلى كواشف موضوعة بعناية. وهذه العناصر هي العناصر التي يكثر فيها حديث الشعراء والقراصنة - إنها الذهب والفضة والبلاتين. وهي عناصر نادرة شبه معدومة في حصاتنا - ومع ذلك تكون هناك عدّة ملايين من كل نوع من هذه الذرات في الحصاة. ففي الأدغال التي لا حدّ لها تقريبًا، ترانا نجد زهر الأوركيد النادر بكثرة. وعند هذا المستوى، على المرء أن يذكر

العناصر غير الموجودة بدلًا من أن يذكر العناصر الموجودة في الحصاة.

ومن الصعب إيجاد تلك العناصر الغائبة عن حصاتنا. وغالبًا ما يُذكر الإيريديوم باعتباره من أندر العناصر في القشرة الأرضية، حيث يبلغ متوسط وفرته جزء واحد في المليار. وهذا يعني على نحو مثير للدهشة أنه في ذراتنا البالغة مليون مليار مليار ذرة، لا بد أن يكون هناك مليون مليار ذرة من الإيريديوم في الحصاة، وكل ذرة منها مخفّفة بما لا حدّ له تقريبًا - لكن ليس تمامًا - من الوفرة الواسعة لجاراتها الأكثر شيوعًا.

لكن الإيريديوم عنصرٌ مستقر على الأقل. وهناك عناصر غير مستقرة، مثل اليورانيوم. ومن أكثرها زوالًا وتلاشيًا عنصر البروميثيوم غير المستقر بشدة، وهو منتج ثانوي من اضمحلال اليورانيوم. فلهذا العنصر عمر نصفي (half-life) يقل قليلًا عن سبع عشرة سنة. مع ذلك، نظرًا إلى أن اليورانيوم موجود ببضعة أجزاء في المليون، فسيكون هناك آلاف من ذرات البروميثيوم التي تظهر وتختفي، دون أن تشاهد أو تكشف، داخل المخزن الذرّي الهائل لحصاتنا.

وبعد ذلك، توجد منطقة ظل خلف اليورانيوم في الجدول الدوري للعناصر، عالم شبحي من العناصر شديدة الثقل وغير المستقرّة، مثل اليورانيوم، لكن عمرها النصفي أقل بكثير. ومعظمها عناصر اصطناعية: كالبلوتونيوم والأميريسيوم والأينشتاينيوم والماندليفيوم - واليوم أيضًا الكوبرنيسيوم، إذا صدّق على الاسم (أي إذا لم يكن للاسم معنًى غير لائق بالمرة في لغة أخرى). وبعض هذه

العناصر، مثل الماندليفيوم، نادرة حقًّا - فربما لا نجد حتى ذرة واحدة في حيّز الحصاة غير المحدود. لكن عناصر أخرى من هذه الذرات بالغة الثقل، مثل البلوتونيوم، ننتجها اليوم في المفاعلات النووية بكميات كبيرة - بالكيلوغرامات في الواقع. عندما تطلق حصاتنا في عالم الرياح والأمواج والمياه الجارية، من المرجّح أن يلتصق بسطحها عدد ضئيل من هذه العناصر، وبسطح كل حصاة (على الشاطئ (وبكل الحصى في كل شواطئ العالم.

إن حصاتنا فعلًا عالَمٌ مصغّر من الكون. ولتلك الذرات في الحصاة، التي تزيد أنواعها على المئة، مكانٌ وتاريخ في هذا الكون. لكن يجب فصل المكان عن التاريخ. ومع أن الحصاة تمثّل القشرة العليا للأرض- إلى جانب ما تبقّى من الأرض والكواكب الداخلية - تمثيلًا رائعًا، فإنها لا تمثّل الكون. فالكون مؤلّف من الهيدروجين والهيليوم في الغالب[4] (مع أن ذلك يتغير، ببطء شديد جدًّا). أما الحصاة - والأرض التي تستقرّ عليها - فإنها مكوّنة من أكسجين وسليكون وحديد وعناصر ثقيلة مشابهة؛ وما تحتويه من الهيدروجين غالبًا ما يكون في الماء وما تحتويه من الهيليوم ضئيل يمكن إهماله. لذا فإن اختلاف الحصاة بحاجة إلى تفسير. لكن قبل ذلك، هناك سؤال عن الأصل الأولي للذرّات في كِسرتنا من الإزدوار. فقد كانت ولادتها ولادةً غير عادية، ورحلتها طويلة بما يفوق الخيال، ومرت في عوالم لا يمكن لأي مركبة فضائية اختراقها أبدًا.

## الرحلة الأولى

من أين يمكن أن تكون قد بدأت رحلة حصاة الإردواز؟ لا بدّ أن تبدأ من البداية الوحيدة التي ندركها، عندما خُلِقت كل مواد الحصاة - مثلما خُلقت كل موادّنا نحن، نحن الذين ننظر في أمر هذه الحصاة؛ وكما خُلقت الأرض التي نحيا عليها، وكما خُلق كل ما نراه عندما نحدّق في سماء الليل فوقنا.

ثمة لحظة فريدة في تاريخنا، لحظة استثنائية خُلق فيها شيء من العدم في الظاهر، ثم انتشر هذا «الشيء» خارجًا من أصله الدقيق ليصبح الكون. وقد سمّي ذلك الحدث باسم الانفجار العظيم، وحدث ذلك منذ نحو 13.7 مليار سنة.

ومن هذه الناحية، تكون الحصاة لغزًا موغلًا في الغموض، مثل أي شيء آخر في الكون. فكيف تمكّنت مادّة هذه الحصاة، وهضاب ويلز التي اقتُلعت منها، والعالم الذي تستقرّ عليه - والنظام الشمسي، ومجرّة درب التبّانة، والمجرات التي لا حصر لها القريبة والبعيدة - من الخروج من نقطة: «شيء فريد»، كما يعتقد كثيرون، لا حجم له مطلقًا؟ وكيف خرجت، أو بالأحرى انتفخت، كما تُدعى تلك العملية، بسرعة لا يمكن تصديقها؟ وعلى نحو ما يُعتقَد، فقد خرجت من بداية ساكنة بحجم مجهري إلى ما يفوق حجم مجرّة في أقل من ثانية، أسرع بكثير على ما يبدو من سرعة الضوء.

إن ذرّات حصاتنا، المتوازنة جدًّا اليوم والمستقرة في أطرها المعدنية تمثّل القلّة التي نجت من معركة الجُسيمات دون الذرّية، والكواركات واللِّبتونات وقريباتها، التي وقعت بعد ذلك الحدث الفريد. لقد كانت معركةً حامية الوطيس، جرت عند درجات

حرارة عالية جدًّا - عدة تريليون تريليون درجة مئوية - ولم تتكرّر بعد ذلك. ولم تنتج من المعركة معظم هذه الجُسيمات، لأن الجسيم وضدّه أفنى أحدهما الآخر، مما أطلق طاقةً زادت في اشتعال النار الكونية.

فهل فرّت أقسام من المادة المضادّة، لتشكل في النهاية أضداد الحصى على الشاطئ الضد في الكوكب الضد في مجرةٍ ضدٍّ بعيدة؟ سكنت هذه الأفكار وأمثالها خيالي العلمي في شبابي، وبحث الفلكيون في سماء الليل عن وميض ضوء لدليل ينبعث عندما تلتقي مجرات مكوّنة من مادة مضادّة بمجرات مكوّنة من مادة سوية، فتتحوّل الجُسيمات المتعاكسة إلى طاقة خالصة عند اللقاء. لكن لم يُعثر على مثل ذلك الوميض للأسف. ولعل المادّة حقّقت نصرًا قاطعًا في الدقائق الصاخبة القليلة الأولى من الكون، أو أن الحصى المكوّنة من مادّة مضادة استقرت على شواطئ بعيدة جدًّا عن شواطئنا، فلا تلتقطها أعظم المقاريب.

وفي الحالتين، بدأت موادّ ذرات حصاتنا تأخذ شيئًا من شكلها المألوف في أقل من ثانية أو نحو ذلك من دخولها الكون. فظهرت البروتونات والنيوترونات داخل كون بقي بمجمله فرن اندماجٍ مرصوصًا يمكن أن تنشأ فيه نوى الذرّات المستقبلية عند درجات حرارة تهبط سريعًا إلى مليار درجة، رغم أنه ما زال يبرد ويتمدّد بقوة عاتية. والبروتون نفسه، هو نواة هيدروجين بسيطة، وكان - وما زال إلى اليوم - لبِنة البناء الأكثر شيوعًا في الكون المرئي. وعند اصطدام نيوترون ببروتون واندماجهما، فإنهما يشكّلان معًا نواة دوتيريوم؛ فإذا اصطدمت ببروتون آخر (وربما نيوترون آخر) تتشكّل نواة الهيليوم[5]. وقد تشكّل قدر كبير من الهيليوم

بهذه الطريقة - ربما يبلغ ربع المادّة التي تشكلت بعد ذلك. وفي كسر شديد الصغر من جزء في المئة من هذه الأحداث أضيف بروتون آخر، فظهر رذاذ صغير لما سيكون الليثيوم.

ومرت ثلاث دقائق. وكان ذلك كافيًا - على الأقل بالنسبة لمادة الحصاة. فأصبحت مكوّنات حصاتنا الآن بلازما من الأنوية والإلكترونات، وما زالت تسرِع إلى الخارج في كونٍ غير شفّاف، كأنه حساء البازلّاء، بينما تصطدم الفوتونات وسط كتلة من الجسيمات المتطاحنة وترتد باستمرار.

مرّ ربع مليون سنة. ثم ظهر الضوء. وأصبح الكون شفافًا. والتُقِطت الإلكترونات لتشكل ذرات محايدة، أما الفوتونات، التي استطاعت في النهاية الانتقال عبر الجُسيمات الرقيقة، فأضاءت الكون. وأصبحت مكوّنات حصاتنا مغمورة الآن بتوهّج كوني صادر من كونٍ تبلغ درجة حرارته الآن 3000 درجة مئوية فقط. وما زال بمقدور الفلكيين كشف ذلك الضوء الخافت بمثابة توهّج لاحق، إذ يظهر إشعاع الخلفية الكوني بالموجات الميكروية، في كل اتجاه، وفي كل مكان يرقبونه في السماء، مع أن هذا الإشعاع ليس إلا تمدّد موجات ميكروية على مرّ 13.7 مليار سنة، وَبُرِّدَ إلى ثلاث درجات فوق درجة الصفر المطلق[6].

لقد كانت خطوة كبيرة باتجاه حالة السواء المعهودة. فهبطت درجة حرارة الجُسيمات، التي ما زالت تسرع باتجاه الخارج، إلى المستوى الذي يمكن فيه التقاط الإلكترونات من قبل النوى الناتجة من الاصطدام، لتستقر في مدارات تستمرّ في الدوران فيها إلى الأبد فعليًّا (مع أنها طبعًا ميّالة إلى الهجرة العشوائية من ذرّة إلى

أخرى في الظاهرة التي نعرفها باسم الكهرباء). لقد ظهرت الذرّات للمرة الأولى: من الهيدروجين، والهيليوم، والرذاذ الصغير من الليثيوم.

وهكذا ولدت بضع ذرّات من حصاتنا. وكان الهيدروجين، المرتبط بجزيئات الماء الموجودة في مادة الإردواز، هو الأصل الأقدم بينها جميعًا. وبالطبع لا نجدها تظهر علامات على عصورها الموغلة في القدم. فالبروتون في جوهره جديد في الواقع، والإلكترون المنفرد لا يكلّ عن الدوران في مداره منذ أن وقع فيه أولًا.

كان على معظم ذرات حصاتنا أن تنتظر وقتًا أطول حتى تولد. فالمواد الخام كانت سُحُبًا متدافعة من الهيدروجين والهيليوم تملأ الكون في بداية اتساعه. فثمة حاجة إلى عمليات سيميائية أخرى لبناء هذه الذرّات الأكبر. إلا أن الأفران التي يمكن أن يحدث فيها هذا البناء لم تكن قد أنشئت بعد، في ذلك الحين.

هذه الذرّات كانت تندفع خارجًا داخل ظلام يلفّها، ظلام يزداد مع تناقص في درجات الحرارة، وخفوت في التوهّج الصادر عن أول ضوء انبثق. وحان الآن زمن السحب الغازية، ونشوء التباين الكوني. ذلك أن ما ستتطوّر إليه قصتنا - وظهور رواة تلك القصة في نهاية المطاف - معلَّق على عيوب الانفجار العظيم.

فهل كان ذلك الانفجار الأولي منتظمًا بصورة تامة، تنتشر نواتجه بانتظام تامّ في الكون المتوسّع، حينذاك سيكون التاريخ الكامل للكون هو تاريخ الانتشار الأشد رقةً وبرودةً لذرات منعزلة؛ تصبح

أكثر عزلة مع تسارعها إلى الخارج. إلا أننا نرى في ذلك الانفجار تموجًا وعدم انتظام، يمكن أن نراهما اليوم في تبدلات مناطقية في قوة الشفق الكوني البدائي المبرَّد تقريبًا؛ الذي يمتد في الفضاء الخارجي.

وحيثما كانت السحب الغازية سميكة، بدأ تأثير الجاذبية (وهي ابتكار آخر ناتج من الانفجار العظيم، إلى جانب سائر القوانين والقوى الفيزيائية). فذرات الهيدروجين والهيليوم، وبضعة من طلائع ذرات الليثيوم، أخذت تنجذب ببطء إلى بعضها بعضًا في ذلك العصر المظلم الطويل من بداية الكون. وفي السحب الأكثر كثافة، كان الغاز يسقط إلى الأجواف الأشد كثافةً للكرات الغازية الهائلة. فتباطأت الغازات لعدم قدرتها على المضي أبعد من ذلك. وبعد أن يُضْغَط الغاز، تتحوّل طاقته الحركية إلى حرارة. وعندما يكون في إحدى هذه الكرات الغازية، تزداد درجة الحرارة أولًا فتصل إلى 100 مليون درجة أو نحو ذلك، فتبدأ التفاعلات النووية، وتبدأ نقطة من الضوء كرأس الدبوس بالإشراق في الكون. لقد جرى تشغيل أول فرن لصنع النجوم، وولدت أول نجمة.

كان ذلك شرطًا مسبقًا ضروريًّا لنشوء جلّ مواد حصاتنا، لكن كان على ذلك النشوء الانتظار أمدًا أطول بقليل. وذلك لأن قلب النجمة التي أنارت لتوّها ما زال حاضنة غير كافية لنموّ ذرّات أكبر من ذرّات الهيليوم، و100 مليون درجة مئوية ما زالت تعدّ باردة جدًّا لتلبّي احتياجاتنا. فعند درجة الحرارة هذه، تكون لدى نواة هيدروجين مُسْرِعَةٍ الطاقةُ الكافية لقهر التنافر الذي يبقي عادةً البروتونات العارية متباعدة بعضها عن بعض، ويمكنها الاصطدام

بنواة أخرى. وعندما تقترب تحت الضغط نواتا هيدروجين بالقدر الكافي إحداهما من الأخرى، يمكن للقوة النووية القوية أن تحجز النواتين معًا. ثم تنضم أربع بروتونات في سلسلة من التفاعلات، فتنشأ نواة هيليوم؛ ويضيع فيها جزء صغير من الكتلة المجملة. وتتحوّل هذه الكتلة الضائعة إلى طاقة، وإلى كميات هائلة جدًّا من الطاقة، كما بيَّن أينشتاين عندما اكتشف أشهر معادلة في العالم: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء. وهذا يوضح ببساطة أن الطاقة المنبعثة تساوي الكتلة الضائعة مضروبة بسرعة الضوء، ثم مضروبة مرة أخرى بسرعة الضوء. وسرعة الضوء مضروبةً بنفسها هي $9 \times 10^{16}$ (متر في الثانية)$^{2}$. وهذا رقم هائل. إنه مقياس قوة الاندماج التي تسيِّر هذا النجم.

لكن لتجميع بروتونات ونيوترونات أخرى معًا في وحدات ذرّية أكبر، ما زالت هناك حاجة إلى ظروف أكثر شدة. والظروف الموجودة في نجمتنا الصغيرة لا تفي بالغرض. إن الشمس، بمقاييس المجرّة، موقد بطيء عادي، كحال أغلب النجوم. فهي تحترق بثبات منذ ما يربو بقليل على 4.5 مليار سنة، ويتحوّل وقودها ببطء من الهيدروجين إلى الهيليوم. لقد احتضنت الشمس حياة واحد على أحد كواكبها على الأقل، وسخّنته بما يكفي تمامًا ليزدهر، وستستمر في الاحتراق على هذا النحو مدة 5 مليارات سنة أخرى، أو نحو ذلك.

إذن يلزم وجود نجم كبير، يزيد حجمه على عشرة أضعاف حجم شمسنا، ليكون كورًا لهذا النوع من العناصر التي يمكن أن تشكّل كوكبًا صخريًّا - وحصاة. ففي النجوم العملاقة تكون الأفران أكبر، وتحترق بدرجات حرارة أعلى وبسرعة أكبر. وهذه النجوم

العملاقة ينفد وقودها بسرعة، ويمكن حتى أن تفقد مخزوناتها الوافرة من الهيدروجين في بضعة ملايين من السنين فقط. فعندما تأخذ الحرائق النووية بالخمود، يبدأ القلب الداخلي للنجم بالانهيار، فلا يعود قادرًا على قهر قوى الجاذبية. لكن هذا الانهيار يولّد الحرارة بدوره، من احتكاك الذرات المرصوصة بإحكام والمنهارة بتأثير الجاذبية. والحرارة ببساطة هي مقياس لسرعة تحرّك الذرات، وعند درجة حرارة نحو 200 مليون درجة، تتحرك ذرّات الهيليوم بسرعة كافية لصهر الأنوية، وبذلك تعيد إشعال الفرن النووي. ومن ذلك يولد الكربون، وتصبح الحياة - كما نعرفها على الأقل - ممكنة في هذا الكون.

لكن في هذا النجم سريع التطوّر، يستنزف الهيليوم بسرعة أيضًا، ويبدأ الطور التالي من الانهيار وإعادة الإشعال. ويشتعل الكربون نفسه عند درجة حرارة 800 مليون درجة لتنشأ عنه عناصر أخرى أيضًا: الأكسجين، والنيون، والصوديوم، والمغنيزيوم. وهكذا يصبح النيون، ثم الأكسجين، ثم السليكون، مددًا لوقود الفرن - وأساسات لإنتاج عناصر جديدة - عند درجات حرارة تصل الآن إلى 3000 مليون درجة في قلب النجم.

إلا أن هناك حدًّا لهذه السيمياء النجمية. فاصطدام الأنوية بعضها ببعضها الآخر، وبناء ذرات أكبر، يُطلق طاقة إلى أن تصبح الذرّات كبيرة بحجم ذرة الحديد (التي تضمّ 56 بروتونًا ونيوترونًا في نواتها). ولا يمكن صنع ذرّات أكبر من ذرّة الحديد بسهولة في هذه العملية، فعمليات الاندماج الأضخم هذه تمتص الطاقة، وتطفئ الحرائق النووية، فتموت الأفران. بعد ذلك، تبدأ مرحلة الازدهار النهائي، وهو حصيلة مدهشة تعطينا المصنع الذري النهائي، حيث

تنشأ الذرات الكبيرة لحصاتنا: النحاس والزنك، والزرنيخ والرصاص واللانثانوم، وكذلك الذهب والفضة والبلاتين. وبذلك يموت النجم بصورة بهية، ومؤسفة، ومنتجة.

وهنا يأتي دور مشهد يشبه الانفجار الذي كان قبل نحو 7300 سنة، في ركن بعيد في مجرّة درب التبّانة. وبعد ذلك، بعد 6300 سنة، وصلت حافة انفجار الضوء والطاقة إلى هذا الكوكب. فأصبح على مدى ثلاثة أسابيع الجرم الأكثر سطوعًا في السماء، ليلًا ونهارًا، باستثناء الشمس. لقد رآه - وسجله - راصدون مندهشون في شبه الجزيرة العربية، والصين، واليابان، وكذلك في مواطن الشعوب الأصلية في أمريكا الشمالية، وربما حتى في أديرة أيرلندا (حيث تحوّل الحدث بعد ذلك إلى قصة عن المسيح الدجال). ثم بهت بعد ذلك. وبعد سنتين، اختفى عن الأبصار حتى في سماء الليل البهيم. لكن وجّه المقراب اليوم إلى ذلك الموضع في السماء فيظهر الحطام النجمي لسديم السرطان الجبّار. إنه بقايا مستعرٍ أعظم[7].

إن هذا الموت النجمي مفعم بالطاقة بصورة هائلة، حتى بمقاييس هذا الكون العنيف الذي نعيش فيه. فلو أن شمسنا حدث فيها ذلك (وذلك غير ممكن لأنها أقل حجمًا بكثير، بفضل الله)، فإن السماء ستمتلئ بضوء الشمس فتصبح فجأة أكثر سطوعًا بمقدار 10 مليارات ضعف. وسيؤدّي فيض الطاقة، الذي يساوي لمدّة وجيزة إشعاع كل النجوم الأخرى في المجرّة، إلى تبخّر أي مراقب للحدث على الأرض؛ حتى قبل أن ندرك الحدث بأبصارنا وعقولنا. بعد ذلك، تكفي بضعة أيام لتجعل الأرض نفسها رمالًا في مهب الريح. لكن ما يهمّنا، وسط هذا المشهد من القوة الهائلة،

أمر واحد: فهذا الحدث هو السندان الوحيد المناسب لصنع آخر الذرات في حصاتنا.

يبدأ المستعر الأعظم بالانهيار الأخير لنجم عملاق استنفد وقوده. ومع انفجار النجم من الداخل، يعيد داخله إنشاء اللحظات التي تلت الانفجار العظيم لمدّة وجيزة. فتنطلق عاصفة من النيوترونات، وتطرق الأنوية المرصوصة بإحكام، وتستقر بينها لرفع حجم هذه الذرات. وفي هذا الاضطراب العظيم قصير الأجل في قلب النجم المحتضَر، حيث تكون درجات الحرارة والضغط أعظم من الإدراك البشري، تنشأ كل العناصر الباقية؛ حتى الرصاص، واليورانيوم، وما هو أثقل من ذلك. لكن لن تستمر كل هذه الذرّات بالبقاء بعد بنائها. فنتيجة البناء المهلهل لها بالأعاصير الفوضوية للجُسيمات دون الذرية، فإنها قد تبنى بالكثير جدًّا، أو القليل جدًّا، من النيوترونات نسبةً إلى البروتونات. وقد تنفصم عرى هذه الذرات غير المستقرّة في جزء من الثانية، أو في أيام، أو في سنوات، أو في دهور، بعد تشكّلها، وتعتمد درجة استقرارها على طريقة بنائها (الخاطئ).

تلبث هذه الذرّات قليلًا داخل النجم، إذ يرتدّ الانفجار الداخلي المهُول، وينقلب معظم النجم من الداخل إلى الخارج في الانفجار التالي للمستعر الأعظم. وتندفع العناصر التي نشأت مع الحطام النجمي إلى الفضاء الخارجي، وتبدأ رحلاتها في الأرحاب الفسيحة للفضاء بين النجوم. فتتكثف في المعادن الأولى، وتصبح غبارًا نجميًّا: وهو الكتل البنائية للنجوم والكواكب الجديدة، ومنها كوكبنا، ومكوّناتنا الخام - وللحصاة.

وبوسعنا - نحن البشر - أن نرى الغبار النجمي اليوم، من بعيد. فمجرتنا تحتوي سحبًا من الغبار التي يمكنها أن تحجب عنا ضوء النجوم، عندما تدور هذه السحب بسماكة كافية - مثل سديم رأس الحصان الذي كثيرًا ما التقطت له الصور. إنها تغلف النجوم الناشئة القريبة منا بقدرٍ كافٍ يمكِّننا من تفحص كلٍّ منها؛ حيث بوسعنا تحليل الضوء المشع من خلال الغبار، بوساطة المقراب والمطياف[8]. ويحتوي الغبار النجمي، كما جرى تفحّصه، على المعادن المألوفة لنا: سليكات الحديد والمغنزيوم من قبيل الأوليفين والبيروكسين، على هيئة جُسيمات بحجم حبّات الرمل. وهناك الكربون أيضًا، على هيئة شذرات صغيرة وعلى هيئة أشعار طويلة تدعى «شعيرات الغرافيت» التي تعطي إشارة طيفية دليلية خاصة للفلكيين، كما أنه يوجد على هيئة ماسات مجهرية. وقد التقط الإنسان بعض هذه الجُسيمات السابحة بين النجوم: فقد استخدَمت المركبة الفضائية ستارداست [الغبار النجمي] آلةً خاصة مغطاة بمادة هلامية لالتقاط بضع شذرات من تيّار جُسيمات غبار نجمي يعتقد أنها آتية مما وراء نظامنا الشمسي. وعُثر على شذرات صغيرة من الغبار من منظومات نجمية قديمة وبعيدة داخل النيازك، وذلك بالتحليل الكيميائي الدقيق. وهذه الحبيبات - من الأكاسيد والسليكات - مواد غريبة دليلية، فنسب الأنواع المختلفة من الذرات المنفردة (النظيرة) تختلف كثيرًا عن أي شيء ألفناه في نظامنا الشمسي.

كم عدد المستعرات العظمى التي أتت منها ذرات حصاتنا؟ وما المسافة التي قطعتها عبر الفضاء الفسيح بين النجوم، قبل أن تصل إلى سحابة الغبار والغازات التي كوّنت نظامنا الشمسي؟ لعل كثيرًا من ذرات الحصاة اجتاز أنظمة شمسية سابقة، ثم ابتلعتها

نجوم متنامية، ثم لفظتها مرة أخرى (بالإضافة إلى ذرات مصنعة حديثًا) في سَكَرات موت هذه النجوم.

ويمكننا الإحساس بهذا التاريخ، من المقاريب (خاصة مقراب هابل المميّز) التي بوساطتها يتمكّن الفلكيون من إمعان النظر أكثر وأكثر في الفضاء، وفي الوقت نفسه يرون أزمانًا سحيقة أبعد وأبعد. فبمقدورهم اليوم التقاط الضوء الذي مضى على انتقاله في الفضاء 12 مليار سنة: الضوء الذي يسجل ولادة (على ما يظن) بعض النجوم الأولى، بعد أقل من مليار سنة على الانفجار العظيم.

لقد كان ذلك الزمن زمن العمالقة، فتلك النجوم كانت ضخمة. وكان ذلك ضروريًّا، لأن غازات الهيدروجين والهيليوم البدائية كانت أشدّ حرارة، وبذلك كانت تحت ضغوط مرتفعة أكثر مما هي عليه اليوم. ولم يكن غير السحب الضخمة يمتلك قوة الجاذبية اللازمة للتغلّب على هذا الضغط الذي تولّده الحرارة، وبذلك كان للنجوم العملاقة فقط - التي تزيد أحجامها مئات المرات على حجم شمسنا - أن تتشكل. وهذه العمالقة عاشت سريعًا وماتت في حداثة سنِّها، وسيّر موتها المصنع الكوني للعناصر الكيميائية. إن ضوء أبعدِ كوازار [9] معروف لنا يظهر غبارًا يحتوي الكربون، والأكسجين، والحديد؛ ويشكل سحبًا بعد أقل من مليار سنة على الانفجار العظيم.

وهكذا كانت الدروب التي سلكتها ذرّات حصاتنا طويلة وغامضة، ولعل تفاصيلها غير معروفة - باستثناء وحيد. وهو العنف النجمي الذي سبق مباشرة نظامنا الشمسي - وكان كأنه قابلةٌ (داية). ففي مكان ما بقرب سحابة الغاز والغبار التي شكّلت زاويتنا المميّزة

في هذه المجرة، انفجر مستعر أعظم، فغذى هذه السحابة بالمادة الجديدة. وضمّت هذه المادة عناصر ذات عمر قصير جدًّا ونشاط إشعاعي عالٍ جدًّا، مثل نظير الألمنيوم الذي ينقصه نيوترون واحد عن الألمنيوم العادي. واضمحلّت هذه العناصر غير المستقرّة في أمد وجيز من بضع ملايين السنين بعد تشكلها. وتركت لنا بصمة دليلًا على بقايا المادة المعدنية الأولى - النيازك - في نظامنا الشمسي، وسنجد الأنقاض التي تركها هذا الاضمحلال القديم في حصاتنا أيضًا.

ربما كان للمستعر الأعظم القريب الذي انفجر وغذّى سحابة النظام الشمسي البدائية بهذه العناصر ذات النشاط الإشعاعي العالي، دور أكبر من ذلك أيضًا. فلعل الأمواج الصادمة الصادرة عن هذا المستعر الأعظم قدمت «دفعًا» لبدء التجميع الأخير لسحابة الغبار والغاز وانهيارها، وهي السحابة التي أصبحت نظامنا الشمسي تحت قوى التجاذب الثقالي لكتلتها. وهكذا، وربما بعد ذلك العنف الكوني ولد موطننا الكوكبي، وولدت الشمس التي تدفئه.

وتطوّرت سحابة الغبار والغاز المنهارة هذه إلى كرة مركزية، الشمس، تشتعل داخلها الحرائق النووية الحرارية، وكان القرص المحيط بها من الغاز والغبار حاضنة لمادّة المستقبل، التي منها مواد الحصاة. وخرجت من هذا القرص الكواكب التي نعرفها، وخرجت منه كُويكبات ومذنّبات كثيرة تمتد إلى مدًى أبعد من الكواكب، وأبعد وأبعد، إلى مسافات جليدية شاسعة من سحابة أُورْت[10]، حيث تمتدّ أجسامم مظلمة غير مرئية من نظامنا الشمسي إلى مسافة تبعد عن الشمس سنة ضوئية واحدة، وهي

ربع المسافة التي تفصلنا عن نجم قنطورس القريب (Proxima Centauri)، أقرب نجم يجاور نظامنا الشمسي.

وعند ولادة هذا النظام النجمي الجديد، حدث الفصل بين العناصر، وتميّزت هذه العناصر الكونية النادرة - من السليكون، والألمنيوم، والحديد، والمغنزيوم، والأكسجين (التي تكوِّن نحو جزء بالألف من مواد الكون)، من الهيدروجين والهيليوم المنتشرين في الكون. وأصبحت جُسيمات الغبار التي تحتوي ذرات الحصاة تدور الآن حول الشمس، في النطاق الذي ستولد فيه الكواكب الصخرية.

كان ذلك نطاقًا من الطاقة والعنف، والغموض أيضًا. فقد تحوّلت جُسيمات الغبار إلى مطر من الصخر المذاب مع بدء تحوّلها إلى كواكب. فإذا فلقتَ اليوم نيزكًا حجريًّا فلعلك ترى فيه ما جرى، حتى لو استخدمت في ذلك مجرد عدسة مكبرة بسيطة. فهذه النيازك هي شظايا من الحطام الأصلي لم تسهم في بناء الكواكب - أو لعلها بدأت في عملية البناء ثم تكسّرت إلى شظايا مرة أخرى. فالنيزك، عندما تراه بعدسة مقربة، مصنوع من آلاف الأجسام الكروية الصغيرة الملتصق بعضها ببعضها الآخر، فهو يشبه بعض الشيء ما يمكن أن نتخيله من أحافير بيض السمك. وتدعى هذه الأجسام الكروية باسم الحبيبات الكوندرية، وهي قُطَيرات صغيرة متجمّدة من الصخر المنصهر التي جرى تسخينها بطريقة ما على نحو خاطف بشدة بالغة - تصل إلى درجة حرارة 1500 درجة مئوية - فلم يتبخّر منها الماء وحسب، بل تبخّرت منها أيضًا عناصر من قبيل البوتاسيوم والمغنيزيوم والحديد. وشكلت الحبيبات الكوندرية سُحبًا كثيفة من مطر الصُّهارة، على مدى مئات أو آلاف الكيلومترات.

لكن ما الذي سخَّنها بهذه الشدّة؟ ليست الشمس وراء ذلك، فقد كانت الشمس نجمًا لا يكاد يشتعل؛ فقد كانت لا تزال خافتة جدًّا وبعيدة جدًّا. كذلك لم تضربها صواعق البرق التي تضرب غيوم الغبار - فالانصهار كان عميقًا جدًّا ومنتشرًا جدًّا. ولعل عناصر ذات نشاط إشعاعي عالٍ قصيرة العمر نتجت من المستعر الأعظم «البادئ» كان لها دور في ذلك، لكنها غير كافية للقيام بذلك بنفسها. فما هو إذن المصدر الأساسي للحرارة؟ يعتقد بعض الباحثين أن ذلك التسخين ناجم عن موجات صدمية عظيمة تتسابق عبر السديم الشمسي بأكمله، يسيِّرها التجاذب الثقالي بين الشمس وكتلة المواد في حزام الحطام من حولها. ولو حدث أن سافر رجلُ فضاءٍ ليشهد ولادة نظام نجمي بعيد، فالحريُّ به أن يحترس: فهذه أماكن تحفّها المخاطر.

إنها أماكن تحفّها المخاطر، لكنها أماكن خصيبة أيضًا. فسحب الحبيبات الكوندرية الهائجة والمضطرمة قد تكون كثيفة لدرجة كافية لأن يكون لها حقول جاذبية خاصة بها، مما يمكِّنها من الانهيار والتجمع في أجرام كوكبية أو حتى في كويكبات كبيرة، يبلغ قطرها عشرات الكيلومترات - وهي بذور تشكّل الكواكب في المستقبل. ونتيجة دوران هذه الأجرام في المستوى المداري نفسه حول الشمس، فقد تصادمت وتكسّرت إلى شظايا، أو ابتلع بعضُها بعضَها الآخر، فكبرت.

لقد بنيت الكواكب على عجل. وقد تكون شظايا الصخور والقطيرات المنصهرة محل إقامة مؤقّت لذرّات حصاتنا داخل قرص الغبار الدوار هذا المفعم بالطاقة. فلم يستغرق الأمر إلا بضعة ملايين من السنين من التصادم داخل هذه الدوّامة الهائلة

لتتجمع معظم ذرات حصاتنا المستقبلية في أحد الكواكب الكبيرة الجديدة - ثالثها بعدًا عن الشمس (أو لعله كان رابعها في ذلك الوقت).

فقبل ما يربو على 4.5 مليار سنة بقليل، كانت معظم مقوِّمات حصاتنا (لا جميعها) قد اقتربت بشدة من بعضها بعضًا، بعد أن سحبت من أصولها السحيقة، لتنتشر في مكان ما داخل كرة من الصخر يزيد قطرها بقليل على عشرة آلاف كيلومتر (وهو أصغر ببضعة أجزاء مئوية من قطر الأرض اليوم). لكن ليس في أي مكان داخلها. فقد مرّت بعملية انفصال أخرى (خاصة ذرات الحديد والنيكل التي تدخل في مكوّنات حصاة المستقبل). وأفلتت من التجمّع على هيئة قطيرات فلزِّية منصهرة، فرشحت بفعل الجاذبية إلى أماكن عميقة، آلاف الكيلومترات في عمق الأرض، لتشكل نواة الأرض الفلزِّية من النيكل والحديد. ودعيت تلك العملية باسم «كارثة الحديد»، وشكّلت الحرارة المنطلقة بحر الصُّهارة فوقها. إلا أنه لم يكن هناك أي إصابات في الأحياء، إذ كانت الأرض لا تزال بلا حياة.

يمكن أن ندعو ذرّات النيكل والحديد في حصاتنا (وبعض ذرّات الكبريت أيضًا) الناجين غير الأحياء من هذا الانفصال الكبير - كحال الذرّات النادرة من الإيريديوم والذهب، التي كان معظمها قد سحب إلى داخل نواة الأرض أيضًا، بعيدًا عن متناول عمال المناجم.

أين ستكون ذرات حصاتنا المستقبلية في داخل القشرة الخارجية الكبيرة للأرض الفتية؟ لعلها ما زالت مبعثرة على نطاق واسع،

متناثرةً حول حبيبات معدنية لا حصر لها، وبعضها داخل ذلك المزيج من الصخر والصُّهَارة الذي تبلغ سماكته نحو 3000 كيلومتر، وندعوه: الوشاح[11]. ولعلها تفرّقت في تيّارات من صخور الوشاح التي بدأت تلف الأرباع الأربعة للأرض؛ السطحية منها والعميقة. لقد كانت قريبة إلى بعضها بعضًا أكثر من أي وقت مضى إلا أنه ما زال من المستحيل عليها أن تمتزج في كتلة مادة الوشاح.

كذلك كانت لا تزال هناك بعض ذرّات حصاتنا خارج الكوكب. والوقت الآن هو ما بين 5 ملايين سنة إلى 20 مليون سنة بعد التحام الأرض من التئام أنقاض الفضاء والأجرام الكوكبية. وتوشك مكوِّنات الحصاة، بصورة مفاجئة جدًّا وعنيفة جدًّا، على التحرّك وتغيير شكلها نتيجة حدث سيعيد ترتيبها جوهريًّا، كما أن هذا الحدث سيحدّد مسار تطوّر مستقبل الأرض. ومن ناحية العنف والطاقة، لا يُعَدُّ ذلك شيئًا مقارنة بالانفجارات النجمية التي شكلت مجمل ذرّات الحصاة - ناهيك عن ظروف الانفجار العظيم التي تفوق التصوّر.

ومع ذلك، فهذا الحدث سيكون له دور محوري في أي فيلم ناجح للخيال العلمي. فالمجموعة الرئيسة الأخيرة من ذرّات حصاتنا ستصل إلى الأرض، بسرعة تقدر بآلاف الكيلومترات في الساعة. لقد جاءت من كوكب آخر، كوكب أخفق في أن يكون كوكبًا، لأنه كان على مسار تصادمي مع الأرض. إن كوكب ثِيَا[12] قادم.


2

# من أعماق الأرض

التصادم

تشكل الكوكب ثِيَا في وقت مبكر، مثل الأرض، من كتلة الغبار والقُطيرات الصخرية المنصهرة في القرص المتنامي. ويعتقد أن ثيا كان بحجم المريخ تقريبًا، إلا أنه لم يكن له شيء من عمر ذلك الكوكب المديد. فقد كان مداره قريبًا جدًّا من مدار الأرض بما يحتّم الاصطدام، عاجلًا أو آجلًا.

اقترب الكوكبان أحدهما من الآخر بسرعة تقدر بنحو 40.000 كيلومتر في الساعة. وفقد ثيا هويته المتميّزة في بضع دقائق صاخبة، وتهشمت الأرض، كأنها برتقالة ضربت بمطرقة. وفي هذا الاهتياج اندمجت ببساطة مادة الكوكبين، بعد أن تحوّلت في لحظة إلى صُهَارة تغلي وبخار يتصاعد. وغاصت نواة ثيا مندمجة بالأرض. وتناثر بعض أجزاء الطبقة الخارجية من الكوكبين في سحابة من البلازما طوقت الأرض التي تشكلت من جديد فجأة. وتكثّفت تلك السحابة لتشكل رفيقًا جديدًا لكوكبنا - وهو القمر.

إنها قصة لطيفة لتكوُّن القمر من تصادم كوكبي مذهل. ومن المرجّح أن تكون صحيحة: مع أنها حتمًا ليست صحيحة على وجه اليقين، لكنها الفرضية الأفضل اليوم التي تشرح ببساطة شخصية أرضنا وتابعها السماوي. وكما هو حال كثير من هذه القصص في العلم، فهذه القصة اليوم هي أفضل ما يناسب ما

حدث. وحُسب على أساس كتلة الجسمين، وكمية الحركة، والمدار، أنه كان من الصعب جدًّاعلى الأرض أن تأسر جسمًا كوكبيًّا شاردًا سليمًا بهذا الحجم. غير أن الإمساك بكتلة من المقذوف المندفعة خارجًا نتيجة التصادم، متوازنة مع صنوها، بالقوى المتعاكسة للجاذبية والقوة النابذة المركزية، هي وسيلة جديرة بالتصديق لتشكل القمر.

وعلاوة على ذلك، فإن هذا المفهوم يشرح التشابه التناظري اللافت لهذين الجسمين، الذي تولد بالاختلاط الكثيف المصاحب للتصادم. بالمقابل، فإن المريخ له نِسَبٌ مختلفة جدًّا، من نظائر الأكسجين مثلًا، لأنه تشكل في جزء مختلف من النظام الشمسي، كانت فيه ذرات القرص المتنامي الأصلي قد اختلطت في تراكيب مختلفة. وهكذا فإن استخدام مطياف الكتلة لقياس نِسَب النظائر، يمكِّن المرء من أن يميّز بسهولة النيازك القليلة التي جاءت من المريخ من تلك التي جاءت من غيره، بالسهولة التي يمكن للمرء فيها أن يخرج برتقالة من سلّة تفاح. إن فرضية التصادم يمكن أن تشرح كذلك الجفاف اللافت للقمر: فموائعه سريعة التبخر (كالماء) تبخّرت من بلازما التصادم شديدة الحرارة؛ قبل أن يلتئم في شكله الجديد.

وبعد بضع سنين من هذا التصادم المفترض، كانت الأرض، وتابعها الجديد، وهو القمر، منصهرة متوهّجة. وكان القمر أقرب إلى الأرض مما هو عليه اليوم؛ بحيث يبدو لأي مراقب على الأرض (في خيالنا فقط) ضعف حجمه الذي نراه عليه اليوم أو أكثر من ذلك. وبعد ذلك، بدأت الأرض تاريخها من جديد.

ليس هناك أي شيء واضح جدًا كفوّهة باقية في كوكبنا، تشكّل سجلًا فيزيائيًا لهذا الحدث. فبعد التصادم، تحوّلت الطبقات الخارجية من الأرض إلى بحر من الصُّهَارة بعمق آلاف الكيلومترات. ومع تصلّب هذه الصُّهَارة ببطء، أصبح للكوكب سطح جديد مميَّز [13].

لقد انتُزِعت مادة القمر إلى الأبد من مادة الأرض. ومن بين ذرّات مادة الأرض، هناك مجموعة جزئية صغيرة منها تجمّعت في الحصاة التي اخترناها بعد نحو 3 مليارات سنة. وأينما كانت هذه الذرّات قبل التصادم، فإن توزّعها قد تغيّر بصورة عميقة نتيجة الاختلاط الناجم عن التصادم، ونتيجة العدد الوافر من ذرّات كوكب ثيا - التي يوجد بعضها في حصاتنا بلا شك - التي تمازجت اليوم بصورة معقدة مع الأرض.

## في أعماق الأرض

استغرق بحر الصهارة في الأرض ملايين كثيرة من السنين ليبرد. وفي نهاية الأمر، بدأ سطح الأرض بالتصلّب بما يكفي لتشكيل قطع من القشرة الخارجية الصلبة. وهذه القطع -وهي المقدّمات الأولى للقارات- سحبت ببطء عبر سطح الأرض بتيارات حرارية من الصخر المنصهر تحتها. وفي أعماق الأرض، بدأ بحر الصهارة أيضًا بالتبرّد والتبلور، ليشكّل (في معظمه) الصخور الصلبة في وشاح الأرض، ومع ذلك استمرّت تياراتها في الجريان.

بدأت هذه التيّارات الأرضية بالاستقرار على الوجه التي هي عليه اليوم، محرِّكةً القارات بوساطة آلية الصفائح التكتونية - وهو نمط أرضي فريد في النظام الشمسي. حيث تتباعد تيّارات الوشاح الصاعدة فتؤدي إلى نشر مساحات من القشرة البحرية على سطح الأرض؛ تغوص في نهاية المطاف من جديد داخل أعماق الأرض، والصفائح الغارقة بدورها تساعد في توجيه تيّارات الوشاح. وعلى السطح الخارجي، مع تبرّد السطح، بدأ المطر بالهطول. وتجمع الماء - الذي أتى جزء منه من الغازات البركانية المنطلقة من داخل الأرض، وجزء آخر من وصول مذنبات كثيرة غنية بالجليد - ليشكل المحيطات الأولى في الأرض.

إن ذرّات حصاتنا المستقبلية موجودة في مكان ما من التيّارات الصخرية تحت سطح الأرض. وكانت تلك التيارات أسرع وأكثر سخونة مما هي عليه اليوم - ربما كانت سرعتها ضعف ما هي عليه اليوم. وكانت أعماق الأرض أكثر سخونة حينذاك، ويعود ذلك في جزء منه إلى أن النشاط الإشعاعي الطبيعي كان عاليًا، وفي جزء آخر إلى الحرارة الباقية بعد الاصطدام بكوكب ثيا. وهناك بيّنة على ذلك يمكن أن نشاهدها في بعض الصخور البركانية التي تولّدت من تلك التيارات: فالحمم البركانية التي ندعوها الكوماتييت، كانت أكثر كثافةً بالحديد والمغنيزيوم من حمم اليوم، وهي تنمُّ بذلك عن درجات حرارة أعلى في تشكّلها. لكن على أي حال، وكما يمكن الاستنتاج من البقايا الباقية الأقدم من صخور قشرة الأرض من ذلك الزمن، فإن النمط الأساسي من الصفائح التكتونية[14] كان يعمل بأسلوب يشابه بصورة عامة أسلوب عمله الذي نراه اليوم.

لقد كانت ذرات الحصاة حينذاك، بعيدة على الأغلب مئات أو آلاف الكيلومترات في أعماق الأرض، متناثرةً في مكانٍ ما بين سطح الأرض وسطح نواتها. فقد كانت موزعةً ومرتبطةً بمعادن صخور الوشاح، وانتظرت نحو 3 مليارات سنة لتتحرّر منها. وهذا الوشاح هو في غالبيته صخور صلبة، لكن على الرغم من ذلك فهو ينساب ببطء إذا وضع تحت ضغط متواصل مناسب، كما تفعل تمامًا بلورات الثلج الصلبة اليوم في الأنهار الجليدية. فالضغط المُطْبِق على نهر الجليد هو الجاذبية، وحركته هي باتجاه الأسفل. والقوة التي كانت مطبقة على صخور وشاح الأرض تأتي من الحرارة التي يولّدها النشاط الإشعاعي، وهذه الحرارة تزداد كلما اتجهنا إلى الأسفل في أعماق الأرض. والحرارة -خاصة في مكان اتصال الوشاح بالنواة الأكثر سخونة- تجعل الصخر أقل كثافة، فيصعد إلى السطح. وبعد ذلك، وعندما تصعد تلك النافورة البطيئة من الصخور إلى مكان مناسب لتتبرّد وتزداد كثافةً، تتولى الجاذبية أمرها، فتبدأ المواد الصخرية بالسقوط باتجاه النواة بتأثير ثقلها. وهذه الدورة من الصعود والهبوط تستغرق مئات الملايين من السنين. ولعل جزءًا من الوشاح أصبح اليوم قريبًا من القشرة بعد أن بدأ رحلته في الصعود عندما كانت الديناصورات تمشي ذات يوم على وجه الأرض.

وهناك مسارات أخرى أكثر سرعة داخل الأرض الصلبة، إنها طرق سريعة ضخمة من الصخر تدعى أرياش الوشاح: وهي نوافير ساخنة سريعة من الصخر المتصاعد إلى ارتفاع بضع مئات الكيلومترات؛ وبعرض مئة كيلومتر أو مئتي كيلومتر. وإحدى هذه الريش، التي وصلت أولًا إلى سطح الوشاح منذ نحو 60 مليون سنة، ما زالت ترفع القشرة التي تحت أيسلندا (وترفع

أيسلندا نفسها طبعًا)، مما يجعلها أعلى بنحو 3 كيلومترات مما كان يمكن أن تكون عليه لولاها. وهناك ريشة أخرى تقبع تحت بركان ماونا لوا في جزر هاواي. وقد أنتجت الحرارة المفرطة التي تزوّدها حممًا تتدفّق إلى السطح، فجعلت البركان في بضعة ملايين من السنين أكبر البراكين على الأرض (وأضخم الجبال، عند قياس حجمه من قمة فوهته إلى قاعدته في قاع البحر).

ومنذ زمن التشكّل الأولي للأرض الصلبة، كانت ذرّات حصاتنا مرتبطة بالمعادن: معادن محددة تظهر الترتيبات الجزيئية التي لا تتلاءم فقط مع الائتلاف الكيميائي للعناصر المتنوعة - مثل ذرّات السليكون والألمنيوم ذات الشحنة الموجبة المتحالفة مع ذرّات الأكسجين السالبة في معادن السليكات - بل هي تتلاءم أيضًا مع الظروف السائدة لمسافة آلاف الكيلومترات داخل الأرض. وهذه الظروف هي درجة الحرارة المرتفعة (تتراوح حاليًّا بين 1000 و4000 درجة مئوية، وكانت في الأزمنة الغابرة أعلى من ذلك بقليل) وكذلك الضغوط الساحقة، التي تعادل عدّة آلاف جوّ[15]، مما يجعل الأطر الجزيئية لمعادن الوشاح متراصّة بإحكام.

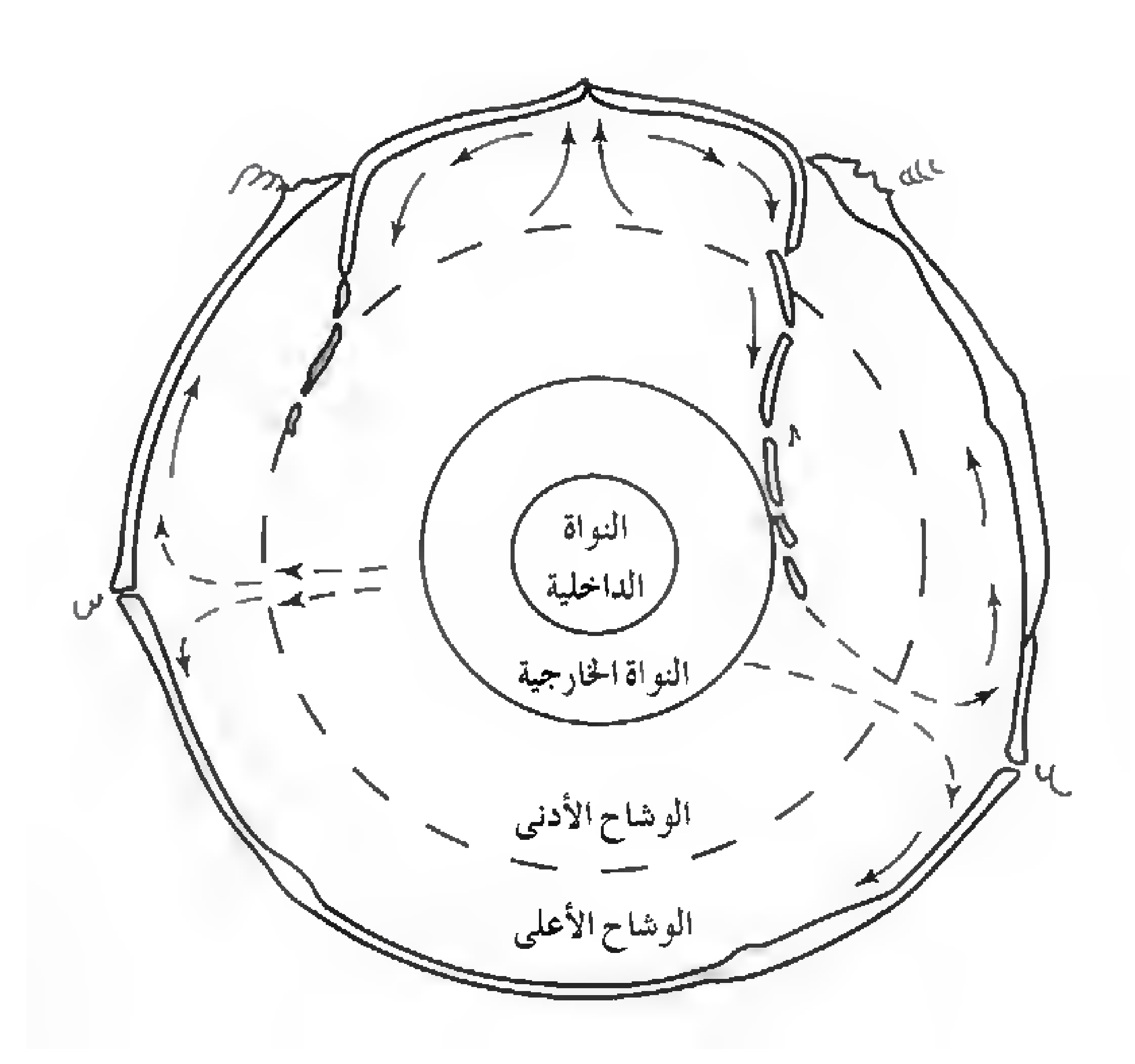
يمكننا اليوم تصنيع مقادير زهيدة من المعادن التي تشبه تلك الموجودة في الوشاح، وبصورة مختصرة جدًّا، في المختبر عن طريق محاكاة الظروف الموجودة في أعماق الأرض. وللقيام بذلك، يضع الجيولوجي شيئًا يسيرًا من معادن سطح الأرض بين فكّين ماسيين دقيقين في سندان صغير جدًّا (لكنه قوي جدًّا)، ثم يسخن إلى درجات حرارة ملائمة ثم تضغط بإحكام شديد. ويمكن للمرء أن «يرى» ما يحدث بتصويب الأشعة السينية عبر الحبيبات المعدنية الصغيرة، والنظر في الصورة الناتجة - وهي

صورة لا تظهر الشكل الخارجي للحبيبات بل تظهر الأطر الجزيئية داخلها. ولجعل التجربة واقعية بصورة أكبر، ينبغي للحبيبات أن تكون بتركيب كيميائي يوائم وشاح الأرض - أي غنية بالحديد والمغنيزيوم، مع نسب قليلة من السليكون والألمنيوم.

تنتج معادن جديدة - وغالبًا بـ «فرقعة» واضحة مع انهيار الذرات لتصبح أطرًا جديدة أكثر تراصًّا وإحكامًا. والمعادن التي على عمق ألف كيلومتر، أو أكثر، لها أسماء غير مألوفة لنا، من قبيل البيروفسكيت (وعلى أعماق أكبر هناك معدن البوست بيروفسكيت) والرينغوديت والفيروبريكليس[16]. وهناك معدن أو اثنان مألوفان لنا - فالكربون مثلًا يشكل ما يشبه القفص؛ وكثيرًا ما نجده في الإطار الجزيئي للألماس.

لقد ارتبطت ذرات حصاتنا بهذه البنى الجزيئية ذات الضغط العالي نحو 3 مليارات سنة، وانتقلت بضعة سنتيمترات في كل سنة. ونحن لا نعلم بالضبط الشكل الذي تبدو عليه تيارات الوشاح. فواقع الأمر أنه يستحيل علينا الانتقال فيزيائيًّا في الوشاح اليوم لنرى سلوك هذه التيارات. ومعارفنا مستمدة من جمع المعلومات من تجاربِ سندان الألماس، وتتبعِ تقدّم الأمواج الزلزالية في الأرض، وملاحظة نوع كتل الوشاح الصخري التي تقذفها البراكين عشوائيًّا، حيث تبين بيانات الموجات الزلزالية بوضوح أن الوشاح اليوم يتكون من درعين رئيسين، الوشاح الداخلي والوشاح الخارجي، ولهما كثافتان مختلفتان. ولعل الحدّ بينهما يمثل «تغيرًا مرحليًّا»، يفصل المعادن بحسب تكيّفها مع أوساط ذات ضغوط ودرجات حرارة مختلفة. فهل تعبر التيارات الصخرية لوشاح الأرض اليوم هذا الحدّ بصورة طبيعية، أم أن

هناك نظامين مختلفين منفصلين، أم أن هناك نظامين مستقلين إلى حدٍّ كبير وبينهما تسرُّب؟ لا تزال هذه الفكرة محل جدل.




الشكل 1 - بنية الأرض، والتيارات التي تتحرك داخلها.

فإذا كان الوشاح في العصر ما قبل الكامبري[17] يتصرف بهذه الطريقة، فإن ذرات حصاتنا - سواء الصاعد منها أو الهابط كلَّ بضع مئات ملايين السنين - أعيد ضبطها، فتغيرت إلى بنية معدنية مختلفة، وأحيانًا يكون ذلك في سلسلة تفاعلية تشترك فيها الكثير من المعادن المجاورة بحيث تكون «الفرقعة» الناتجة هزة أرضية لها ما يكفي من القوة لتهز سطح الأرض.

ففي هذه الأعماق، تكون درجة الحرارة عادةً بضعة آلاف من الدرجات - وهي كافية جدًّا إذا كانت على سطح الأرض لصهر كل هذه المعادن. لكن في الوشاح، تبقى المعادن غالبًا في الحالة الصلبة بسبب الضغوط الهائلة الموجودة في تلك الأعماق. والواقع أنه عند الهبوط في أعماق الأرض، فإن الضغط المتزايد باستمرار شيئًا فشيئًا يحفظ المادة المعدنية صلبة في كل سماكة الوشاح - باستثناءات قليلة، كما سنرى. وبعد ذلك، وفي قاعدة الوشاح، يجري التغيير المثير في النواة عند حدّ الوشاح (حيث تكون درجة الحرارة حوالي 4000 درجة مئوية) فيكون هناك تغير حاد في الكثافة، حيث تتوافق الحالة السائلة (التي يمكن ملاحظتها عند السطح لأنها تصد بعض أنواع الأمواج الزلزالية) مع التركيب المكوَّن من الحديد والنيكل المنصهرين. كما أن هناك ارتفاعًا حادًّا في درجة الحرارة، فصخور السليكات في الوشاح تتصرّف كأنها قوارير عملاقة تحفظ الحرارة حول النواة الفلزِّية.

وفي أماكن داخل الوشاح، تكون درجة الحرارة كافية تمامًا للتغلّب على آثار الاستقرار المعدني الظاهر الناشئ من الضغط، فتهتز الذرّات بسرعة كافية لكسر روابطها الجزيئية والتحوّل إلى حالة الانصهار. لكن هذا الأمر لا ينطبق على كل المعادن، بل ينطبق

فقط على الذرات التي تكون روابطها سهلة التفكّك - أي التي لها نقطة انصهار منخفضة. وهكذا يمكن أن تتجمع أحواض من الصهارة تحت الأرض. وتكون هذه الأحواض بصورة عامة أقل كثافة من الصخر المحيط بها الذي انصهرت منه، وفيها تركيز أكبر من السليكون وتركيز أقل من الحديد والمغنيزيوم. فهي تستعد للصعود إلى السطح، إذا استطاعت أن تجد مسارًا لصعودها.

## الصعود

قبل نحو مليار ونصف مليار إلى مليار سنة، أخذت جلّ ذرّات حصاتنا المستقبلية تتجمع، وتتهيأ للصعود. وتنقلها تيارات الوشاح ببطء إلى حجم صغير نسبيًّا في الوشاح، يشبه شكل الوتد، ربما يبلغ مئات الكيلومترات طولًا وعشرات الكيلومترات سماكةً - وهي ما زالت مبعثرة، إلا أنها تشغَل حجمًا أصغر من أي وقت مضى. ولن تكون هذه حال كل ذرات حصاتنا المستقبلية، لكن الجزء الأكبر من الذرات التي تشكّل الصخور سيكون موجودًا هناك: السليكون، والأكسجين (الذي يرتبط غالبًا بالسليكون في السليكات)، والألمنيوم، وغالبًا الحديد والمغنيزيوم أيضًا.

أما الذرات الأخرى في حصاتنا، فستكون لها رحلات مختلفة جدًّا، وستسافر إلى سطح الأرض في أوقات مختلفة جدًّا عن وقت المجموعة الرئيسة. والذرات التي تتقدمها ستكون الذرات التي قررت السفر عبر المحيطات: الصوديوم، والبوتاسيوم، والكربون،

والكلور - وعبر الجو ستسافر بعض ذرّات الكربون أيضًا. كما أن قلةً قليلة جدًّا من الذرّات ربما ما زالت تصل من الفضاء. إلا أننا سنبقى مع جملة ذرّات الحصاة. فهي تحت الأرض، وتنتظر الانطلاق إلى السطح.

يستطيع الجيولوجيون اليوم قراءة التاريخ المقدّر بنحو مليار سنة تقريبًا لهذا الانطلاق بوساطة ساعة مميزّة جدًّا، تعتمد على السلوك الخاص بزوج من العناصر الأقل شهرة: النيوديميوم والسّاماريوم، وهما من سلسلة من العناصر وثيقة الارتباط ببعضها بعضًا تدعى «الأتربة النادرة». وهذه العناصر شديدة الارتباط ببعضها بعضًا، بحيث إنه إذا غاب أحدها، فإن البقية تجنح إلى الغياب معه - إلا في بيئة مفرطة الشدة حيث يتولّد الصخر المنصهر في الوشاح. فهناك يمسك الصخر المنصهر الغني بالسليكا بمقادير من النيوديميوم أكثر من الساماريوم.

كل شيء على أحسن حال حتى الآن، لكن هناك منعطفًا آخر يقدم آلية عمل لهذا الميقات الذري الخاص. فالنيوديميوم له نظائر متعدّدة، وكل نظير منها له عدد مختلف من النيوترونات يرافق عددًا ثابتًا من البروتونات قدره 60 بروتونًا في كلٍّ منها. ومن هذه النظائر النيوديميوم $Nd^{143}$ الذي يضمّ ما مجموعه 143) بروتونًا ونيوترونًا)، وينتج من اضمحلال أحد نظائر الساماريوم $Sm^{147}$ الذي يضمّ 147 بروتونًا ونيوترونًا). وتحدث عملية الاضمحلال ببطء شديد جدًّا، ولا تتأثر بالتغيرّات في درجة الحرارة، ولا بالضغط، ولا بالظروف الكيميائية. فهذا الأمر تتولاه النواة حصرًا، غير مكترثة بحالة العالم خارج الذرّة. للساماريوم $Sm^{147}$ عمر نصفي قدره 106 من مليارات سنة، مما يعني أنه

بعد هذه المدة ستضمحلّ نصف أي كمية من الساماريوم 147 إلى النيوديميوم 143 بفقدها جُسيم ألفا (وهو فعليًا نواة هيليوم ببروتونَين ونيوترونَين).

ومنذ ذلك الحين، وفي الصهير الصخري المتشكّل حديثًا، ذي الساماريوم المستنزف نسبيًّا، يقل إنتاج نظير النيوديميوم 143؛ وهذا النظير بالتحديد يشكِّل بعد ذلك نسبةً تقل تدريجيًّا من إجمالي النيوديميوم في الصخور. ويمكن أن يستدل على توقيت هذا الإبطاء في النيوديميوم 143 من التحليل الدقيق جدًّا لما تحتويه عينة من صخور القشرة من نظائر الساماريوم والنيوديميوم المختلفة.

إنها ساعة ذرية تصعب ملاحظتها، إلا أنه يمكن الاعتماد عليها بصورة عامة، وقد أصبحت مستخدمة على نطاق واسع في العمل على عينات صخرية تؤخذ من الوشاح. ومن الملاحظ أن عملها (بخلاف معظم الساعات الذرية) يتأثّر بكل التاريخ اللاحق لذلك الصخر بسبب الطريقة التي يبقى بها عنصر الساماريوم «الأب» قريبًا من النيوديميوم، العنصر الابن، في أثناء المراحل الأخرى للانصهار أو تغير الشكل أو التحات. ومن ثم فإن «عمر نموذج النيوديميوم»، كما اصطلح عليه في تسمية هذه الساعة الذرية، يمكن كذلك أن يقرأ - مع شيء من الانتباه، كما سنرى بعد قليل - من تحليل حصاة الإردواز التي نحملها. وهذا مثال تقليدي على مستويات البراعة (أو الدهاء) التي كان على علماء الأرض أن يتسموا بها للإجابة عن الأسئلة الكبيرة حقًّا في الجيولوجيا، من قبيل العمر الحقيقي لأي قارة.

وهكذا فإن الصهارة، التي ستصبح حصاتَنا، أخذت تتجمع في مكان ما في الوشاح، بعيدًا جنوب خط الاستواء (كما تدل على ذلك رحلاتها المستقبلية في الكرة الأرضية)، ربما مثلًا عند خط عرض مضيق ماجلان اليوم. وبالمناسبة فإن تحديد خط الطول أمر أصعب بكثير (بل الواقع أنه مستحيل عمليًّا). والسطح الذي ستصعد إليه الصهارة، في عصور ما قبل الكامبري قبل أكثر من مليار سنة بقليل، كان سطحًا غريبًا إلى حدٍّ ما بالنسبة لنا، على الأقل مقارنة بالأحداث المثيرة التي حدثت في التراكم الأصلي لكوكب الأرض. لقد حدث الكثير في ثلاثة مليارات ونصف المليار سنة من الإقامة المؤقّتة لمكوّنات حصاتنا تحت سطح الأرض.

فقبل مليار سنة، كانت هناك قارّات ومحيطات - مع أننا إذا دعوناها «قارّة»، بصيغة المفرد، فلعلنا نصف حالها آنذاك بصورة أفضل. ففي ذلك الحين تجمّعت معظم كتل الأرض في قارّة واحدة عملاقة، ندعوها رودينيا، يحيط بها بحر عظيم، يدعى أحيانًا ميروفيا. وكان قدر كبير من رودينيا يحتوي الكتل البرّية (القديمة) التي نعرفها اليوم بإفريقيا، وكندا، وغرينلاند، وسيبيريا، وأستراليا. لكننا لا نكاد نميّزها، لأنه على الرغم من أن أركانها القارّية قد تشكلت منذ زمن بعيد، فإن أجزاء منها - جبال روكي وجبال الأورال - مثل حصاتنا آنذاك تتهيأ لمستقبل جيولوجي بعيد، كانت مادتها لا تزال حبيسة في أعماق الأرض. وأجزاؤها التي تشكّلت أسسها حينئذ ونعرفها اليوم، مثل الدرع الكندي[18]، كانت لا تزال تقبع في أعماق الأرض، تحت سلاسل الجبال التي تعلوها، تنتظر الظهور بعد مليار سنة أو أكثر من التحاتِّ، حتى تضاءلت تلك الجبال ووصلت إلى جذورها.

وفي الغلاف الجوي، بدأ الأكسجين بالتراكم، لكننا لو زرنا ذلك الزمن (باختراع آلة للانتقال في الزمن) فسنجد على الأرجح أن مستويات الأكسجين آنذاك لا تكفينا - ولعلها تماثل مستوياته عند قمة إفرست. أما ثاني أكسيد الكربون فكان أضعاف ما هو عليه اليوم. وربما لم يكن ذلك سامًّا بحد ذاته على المدى القصير (بخلاف أول أكسيد الكربون)؛ لكنه مزعج جدًّا. إن الأمر أشبه بالتنفس في غرفة خانقة جدًّا، أو العمل طوال النهار في مصنع للجعة، حيث ينقطع نفس الإنسان بسهولة ويصبح دمه أكثر حامضية.

لقد كانت هذه هي حال العالم الذي تطوّرت فيه الحياة لأمد بعيد - نحو ملياري سنة على الأقل - لكنها كانت حياةً مِيكْروبية. أما الأجسام متعدّدة الخلايا فكان عليها أن تنتظر مئات ملايين السنين في المستقبل - ربما بسبب انخفاض مستويات الأكسجين. وهكذا، لم تكن هناك أسماك، أو قشريات، أو ديدان، أو أشجار أو ورد أو حشائش. فالحياة الميكروبية لا تعني الحياة البسيطة. وقد تجمعت الميكروبات من عصر ما قبل الكامبري في تجمعات تشبه بنية الحصيرة، وأصبح لها بعد ذلك تعقيد كبير كحالها اليوم (فطبقة الزبَد الأخضر أسفل بركة من ماء المطر في فناء مكشوف، والغشاء البكتيري على الأسنان، ظاهرتان للتعقيد المذهل في تعدّد الكائنات). وبعض هذه الميكروبات يرجّح أنها كانت ميكروبات ضخمة - وهناك اليوم ميكروب بحجم عنب الثعلب (الغروميید)؛ يتدحرج في قاع البحر تاركًا خلفه أثرًا مميزًا، يبدو بعض الشيء كأنه مسار عجلة مصغرة (عجلة جرداء لا نقش فيها). وقد وُجدت مسارات مشابهة في طبقة أرضية عمرها مليار سنة في أستراليا والهند، لكن جرت العادة بأن تعزى تلك المسارات إلى تطوّر قبل

الأوان لأجسام شبه دودية؛ قبل أن يكتشف هذا الميكروب العملاق المتدحرج صانعًا آثار مسيره في قيعان البحار.

القارّة الجديدة

ذلك كان العالم الذي يستلقي على هذا الحجم من الوشاح الصخري الذي سيطلق معظم مكوّنات حصاتنا الإردوازية، لا كلَّها. لقد كانت ذرات الحصاة هذه جزءًا صغيرًا جدًّا من كتلة من المواد الصخرية تجمّعت لتشكّل قارّة جديدة صغيرة تضيف مقدارًا ضئيلًا إلى قشرة الأرض لكنه مقدار مهم (كما يُزعَم). كانت هذه القارّة الصغيرة هي التي على سطحها - بعد أمد بعيد - سيحكم الملك آرثر مملكته، وسيكتب شكسبير مقطوعاته الشعرية، وستندلع ثورة تنشر مداخن المصانع ومسابك الحديد في أرجاء العالم. كانت تلك الكسرة من القشرة تمتدّ، في أيامها الأولى، وصولًا إلى نيوفنلند - لكن ليس وصولًا إلى اسكتلندا. وندعوها اليوم أفالونيا[19].

فما هو المكوِّن السحري حينذاك الذي اجتذب مادة حصاة المستقبل، والكثير من تريليونات الأطنان من مادة الوشاح حولها، للصعود إلى السطح، وتكوين نواة القارة الجديدة أفالونيا؟

فالقارة ليست تمامًا قطعة كبيرة من الأرض فوق الماء، بل هي بالأحرى قطعة من القشرة - بأي حجم كانت - خفيفة بما يكفي لتطفو فوق الصخور الأكثر كثافة من قشرة البحر. والقارّات

ليست أراضي غير قابلة للتلف تمامًا. فالرياح والأحوال الجوية تحتّها رويدًا رويدًا. لكنها تكوّنت لتدوم أمدًا أطول من قشرة البحر سريعة الزوال، التي لا تكاد تستطيع البقاء أكثر من 100 مليون سنة (أو 200 مليون سنة بحدٍّ أقصى) قبل أن تجبر على العودة إلى الوشاح الذي يبتلعها عند الخوانق البحرية.

أين يمكن أن تُصنَع القارّة؟ إن المكان المناسب للبدء بذلك هو حيث تغوص صفيحة تكتونية تحت أخرى، عند خانق المحيط الذي هو تعبير سطحي «لمنطقة اندساس». حيث تُجبَر قطعة من صفيحة المحيط القديمة على الرجوع إلى الوشاح، ليعاد تركيبها في مادة الأرض الصلبة. فصفيحة المحيط القديمة باردة - لذا قد يظن المرء أن ذلك يقلّل من احتمال انصهار ما يجاورها من الوشاح. وهي كذلك رطبة، وتحمل معها بعض مياه المحيط في كسرات صخرية وفي فراغات بين الحبيبات الرسوبية، وكذلك يكون الماء مرتبطًا كيميائيًّا داخل المعادن المائية على سطح قشرة المحيط. وفي أعماق تتراوح بين 50 و100 كيلومتر، ينطلق الماء في منطقة الوشاح التي تتموضع فوق الصفيحة الهابطة، وفي هذه المرحلة تبدأ القارة الجديدة تتشكل.

إن الماء المنطلق من القشرة الهابطة، والمنحّل في مادة الوشاح، له تأثير في تخفيض درجة الحرارة التي تبدأ عندها هذه المادة في الانصهار. فهذا هو البادئ الذي سيطلق ذرات الحصاة، وتريليونات الأطنان من أقاربها، من السقالة الصلبة لمعادن الوشاح، إلى برك من الصهارة تحت الأرض. والصهارة الجديدة كانت غنية بالسليكا، وغنية بالماء، ومتحركة، وأقل كثافة من صخر الوشاح غير المنصهر (خاصة لأن صخر الوشاح غير

المنصهر أصبح أكثر كثافة بعد أن زالت منه بعض المكوّنات الخفيفة). فتبحث عن قنوات للصعود إلى السطح، وتجدها.

قبل مليار سنة، وفي مكان ما قبالة ساحل القارة العظيمة الجديدة رودينيا، الظاهرة على المحيط، كانت هناك جزر جديدة تتشكل. وكانت هذه الجزر بدايات أفالونيا، ولعلها بدت تشبه إلى حدٍّ ما جزر ماريانا في المحيط الهادئ اليوم، مع جزيرة غوام في نهايتها الجنوبية، أو تشبه جزر الأنتيل الصغرى في البحر الكاريبي. وعلى التوازي مع السلسلة وعلى بعد مئة كيلومتر أو نحوها هناك خانق بحري عميق (غير مرئي طبعًا، فهو تحت سطح الماء). فذلك هو الموضع الذي تهبط فيه قشرة المحيط.

والبراكين الواقعة في سلسلة الجزر تلك وأشباهها هي بلا ريب براكين مذهلة تجتذب صور المصورّين، وهي غير مؤذية نسبيًّا، حيث تنساب فيها الحمم التي يراها المرء في فيلم سينمائي، يتحدث عن هاواي مثلًا. لكنها فائقة العنف: فالصهارة اللزجة الغنية بالسليكا لا تنساب عادة خارجةً منها، بل هي تتقطع في قطع صغيرة من الرماد بانفجارات هائلة. ثم يُحمَل الرماد عشرات الكيلومترات في السماء مع انطلاق أعمدة الثوَران بسبب الحرارة الهائلة المنطلقة، أو يسير على الأرض في تيارات مخيفة من الفتات البركاني الكثيف - والأعاصير الكثيفة من الرماد المتوهج قادرة على إجداب جزيرة بأكملها - فسحب الرماد الداكنة في الجو تُغرِق معظم منظر اليابسة في ظلمة حالكة. وبين وقت وآخر تهتز هذه الجزر المتنامية بزلازل قوية، وتكتسحها أمواج تسونامي العملاقة؛ هذه الظاهرة المهلكة والمحتومة التي ترافق نموّ ما

اصطلح عليه باسم قوس الجزر، وهو مصنع لإنتاج القشرة القارية الجديدة.

كذلك يمكن للقشرة أن تهبط تحت قارة؛ وتندفع الصهارة المرتبطة بالبراكين المشكِّلة للقارة (أو بالأحرى المنمّية للقارة في هذه الحالة) عبر قشرة الكتلة القارية الموجودة. وهذه هي الكيفية التي تنمو بها براكين جبال الأنديز مثلًا - كبركان كوتوباكسي، وبركان تشيمبورازو، وغيرهما من البراكين - التي تنمو على الحافة الغربية للقارة الأمريكية الجنوبية (وتضيف إلى كتلتها). لكن في هذه الحالة تختلط الصهارة الصاعدة، وتتلوّث، بالقشرة القارية القديمة التي تجتازها. ويبدو أن ذلك ليس ما هو عليه الحال في أفالونيا: فهذا التلوث كان له أن يظهر بأعمار نموذج النيوديميوم اللافتة للنظر، التي تبدي نمطًا منتظمًا بصورة كافية ينمُّ عن أن أفالونيا الأصلية كانت قشرة نقية غير ملوّثة. ويبدو أنها نمت في عزلة جزرًا فوق قشرة المحيط، وهنا تبدأ مادة حصاتنا بالدخول إلى سطح العالم.

إن معظم ذرات حصاتنا المستقبلية كانت في مكان ما في سلسلة الجزر التي يبلغ عمرها مليار سنة. وبعضها خرج على هيئة جُسيمات من الرماد، أو بلورات في التيارات الثخينة القصيرة من الحمم الغنية بالسليكا. وبعضها لم يكمل رحلته بعد إلى السطح، بل ما زال عالقًا تحت سطح الأرض، بعمق بضعة كيلومترات تحت السطح، في حجرات خرجت إليها الصهارة جزئيًّا وحسب، ثم تبردت وتصلبت في مكانها. إن الجُسيمات التي ستبنى منها حصاتنا في نهاية المطاف ما زالت مبعثرة إلى حدٍّ كبير، وعلى الأرجح أنها موزعة بين جزر متعدّدة في سلسلة الجزر، وهي

تقترب الآن ببطء من بعضها بعضًا، لكن ما زال أمامها درب طويل ومتعرج قبل أن تجتمع معًا لتشغَل الحجم نفسه الذي يشغله مثلًا هذا الكتاب في يديك.

وهذه الصخور البركانية من النواة القارية الأصلية كانت مصنوعة من بلورات مختلفة، إلى جانب بعض الزجاج البركاني الطبيعي؛ حيث تنطفئ الصهارة بالهواء البارد أو الماء قبل أن تحظى البلورات بفرصة للنمو. إلا أن القليل من هذه الصخور، أو بلوراتها المكونة لها، لم تبق على شكلها الأصلي ليعرف الجيولوجيون، بعد مليار سنة، أنها أجزاء من قارة أفالونيا البدائية. وما زال أمام هذه الصخور تاريخ آخر تمرّ به، ويعاد تشكيلها إلى حدٍّ كبير، قبل أن تطلق جُسيمات الحصاة إلى ما يمكن أن يدعوه المرء رحلتها الحاسمة، إنْ لم تكن رحلتها الأخيرة. فقد بدأت رحلات أفالونيا - وولاداتها - المجهدة.


3

# الأراضي البعيدة

## يابسة كثيرة

كانت هناك قارّة اسمها أفالونيا، لكن كان من الممكن أن تكون كذلك شانغريلا، أو «العالَم المفقود» للكاتب الإنكليزي كونان دويل (Conan Doyle. *Lost World*). إن الأرض المتوارية التي حضنت حصاتنا - الأرض التي كانت موجودة ذات يوم - بعيدة عنا اليوم كل البعد. ويلزمنا القيام برحلة ملحمية للوصول إليها، عائدين إلى الأزمان السحيقة للأرض. وليست تلك رحلة مادّة، كالرحلة التي تجري مثلًا بمروحية أو بقارب خشبي، يقوم بها مستكشفون يرتدون خوذات الرأس ويحملون مُدْياتٍ عريضةً. بل هي رحلة للخيال، ومع ذلك يحطّ المرء على الواقع المادّي لهذه القارّة الضائعة، وآثارها التي ما زالت موجودة.

فأنت إذا لمست الحصاة، تكون قد لمست أفالونيا، في شكل حبيبات معدنية تمثل انهيارها، بعد تفكّك متواصل حدث على مرّ نصف مليار سنة من الرياح والأمطار والفيضانات. وعلى المرء أن يبحث في هذه الحبيبات للرجوع إلى منظر اليابسة الذي مثلته ذات يوم. أو بالأحرى مناظر اليابسة. فأفالونيا لم تكن كيانًا وحيدًا غير متبدل، يمكننا أن نأمل في تصويره في تفاصيل أكثر من أي وقت مضى مع دراستنا لماضيها القديم. فقد كانت هذه القارّة المفقودة تتغيّر، وتتبدّل، وتتجدّد نفسها باستمرار. والكسرات المعدنية

الصغيرة جدًّا التي تشكل اليوم جزءًا من الحصاة ليست كسرات من تلك القارة، بل هي كسرات من الوجوه الكثيرة المتغيّرة لتلك القارة. وقد يقوم المرء، للمقارنة، بأخذ بقايا صغيرة من كلٍّ من المدن المتتالية في طروادة (ويأخذ عينة كذلك من المباني الحديثة المشيّدة اليوم فوق البقايا المدفونة). ثم يقوم بطحن هذه القطع لتصبح مسحوقًا ناعمًا. ثم يقدم حفنة من هذا الغبار إلى عالم آثار، ويقول له: «والآن، أعد هذه المدن إلى الحياة من جديد!».

إن مناظر اليابسة سريعة الزوال. وهذا المفهوم لا ندركه بسهولة. ففي حياتنا القصيرة نرى بقاع الأرض وكأنها أشياء ذات بقاء طويل، وكأنها الأساس الصخري الذي قامت عليه الحضارات الماضية. وحتى في تلك العصور البشرية يمكننا أن نرى كتلًا من حطام الصخور مركومة تحت جروف الجبال - وعندما نسير بقربها، نسمع صوت سقوط قطع صخرية أخرى، تنفصل عن وجوه الصخر بفعل الريح والماء. ونرى الرمال تتحرّك في قاع النهر، تقودها المياه الجارية. وأحيانًا قد نرى قرًى سحقتها الفيضانات، تغطي أطلالها الغضاريات وجلاميد الصخر التي جاءتها من مسافات بعيدة عبر الوادي. وقد نرى براكين تثور، فتدفن مناظر اليابسة تحت الحمم أو الرماد.

اضرب هذه التغيّرات برحابة الزمن الجيولوجي، لتجد أن هناك الكثير من الوقت لتغيير وجه قارّة. لقد كان هذا شيئًا أدركه أحد زملاء تشارلز داروين، تشارلز لايل (Charles Lyell) (ومعلّمه في الواقع)، عندما اقترح أنه بدلًا من استخدام المصطلح غير الأنيق «مذهب الوتيرة الواحدة»[20] يجب إيصال فكرة أن العملية اليومية البطيئة بإمكانها، على مر الدهور، أن تحوّل وجه

كوكب تحويلًا تامًّا. لذلك فقد احتاج إلى مفهوم للدهور الأرضية (يتجاوز بضعة آلاف السنين التي ذكرتها التوراة). وهنا كان لايل واضحًا جدًّا بأنه مدين لجيمس هوتون (James Hutton)، وهو عالم من القرن الثامن عشر، عندما رأى الطبقات الصخرية القديمة لجبال اسكتلندا تجثم فوق الجذور المتحاتّة لسلسلة جبلية أقدم، أدرك فجأة رحابة الزمن («بلا أثر من بداية، ولا أفق لنهاية») ممثلةً بذلك التجاور الماديّ للطبقات الصخرية.

لقد كان الباحثون في العصر الفيكتوري، شخصيات لا يمكن أن ترى حيويتها في الصور الكالحة من ذلك العصر. فعلى سبيل المثال، عندما عرف لايل بنظريات داروين عن تشكّل الجزر المرجانية، «غلبته البهجة حتى إنه بالغ في الاحتفاء بالأمر، وأخذ يتمايل على عادته عندما يكون مفرط السرور». واليوم يبدو ذلك رجلًا يبتهج عندما يشاركه أحدهم الجعة، بعد يوم طويل من جمع الأحافير في الهضاب.

وحتمًا كان يمكن أن يرقص لايل الليل بطوله، لو أنه لمح فقط كمية العالم المفقود من الماضي المحفوظة في فُتاته، المغلفة بحصاة قصتنا. إلا أنه ربما أصابته مسحة من الأسى، وأبطأ من نشاطه في رقصة هادئة وقور، لو عرف أن مفهومه العزيز عليه بشأن «مذهب الوتيرة الواحدة» لا بد له في نهاية المطاف أن يبدي جوانب قصوره، على الرغم من التألق والنفوذ الذي كان له. إن العوالم المفقودة للأرض غالبًا ما تكون شديدة الاختلاف عن عالمنا الحالي؛ فالحاضر ليس دائمًا مفتاحًا يعتمد عليه في الولوج إلى الماضي. وحصاتنا تحتوي داخلها عوالم غريبة عنا.

ما الذي نراه إذًا في حصاتنا، من كسرات أفالونيا البائدة؟

يمكن للمرء أن يبدأ بحمل الحصاة في الضوء والتحديق فيها بعدسة مكبرة بسيطة. ومن الأفضل ترطيب الحصاة أولًا، في نهر أو بحر، فذلك يسهل رؤية البنية المعدنية للحصاة. ثم يركز على الشرائط الشاحبة ذات النسيج الخشن. فستبدو فيها خطوط حدية مستديرة مجتمعة معًا، وكلٌّ منها عرضه جزء من المليمتر. وقد كانت هذه يومًا حبيبات طمي ورمل، غسلتها الأمطار من أفالونيا. وفي حصاتنا آلاف منها.

للحصول على نظرة أكثر قربًا، علينا أن ندخل عالم الأقزام في مملكة المعادن. وبوسعنا البدء بالنظر إلى سطح الحصاة بمجهر بصري قياسي. فهذا سيساعدنا قليلًا، لكن ليس بالقدر الذي تظنّه. فالحبيبات نصف الشفافة الصغيرة جدًّا، المحشورة معًا، تعكس الضوء من حدود حبيبات وافرة داخل الجزء الخارجي من الحصاة. والتأثير الإجمالي يكون ضبابيًّا مبهمًا - فلا يمكن للمرء أن يرى أشجارًا مفردة في الغابة. وقبل قرن ونصف قرن من الزمان، انتهج هنري كليفتون سوربي (Henry Clifton Sorby)، وهو عالم إنكليزي من شيفيلد، طريقًا أفضل من ذلك؛ فقطع الكسرات قَطعًا جانبيًّا إلى أسفل نصفين، وألصق أحد النصفين على مزلاق زجاجي، ثم طحن الصخرة بحذر إلى أن

سحقت تقريبًا. وعندما أصبحت الصخرة بحجم رقاقة لا تزيد سماكتها على جزء من الألف من البوصة، أصبحت نصف شفافة. وأصبحت أشكال الحبيبات، التي هي الآن في خط واضح جميلة المنظر عند رؤيتها بالمجهر. وفي عصره، كان ذلك ابتكارًا متطرفًا. ولعله كان متطرفًا جدًّا لسوربي إذ تعرّض للسخرية أول الأمر لأنه «يدرس الجبال بمجهر». إلا أن سوربي كان صاحب الضحكة الأخيرة: فلا يزال تصنيع «شرائح رقيقة» من الصخور تقنية قياسية حتى يومنا هذا.

ويمكن للشريحة الرقيقة من الحصاة أن تبين لنا اليوم، بصورة جميلة جدًّا، حجم هذه الحبيبات الصغيرة وشكلها. ويمكن أن تخبرنا بالمعادن التي صنعت منها، وذلك من الطريقة التي تمر بها أشعة الضوء الآتية عبر الشريحة الرقيقة، متفاعلةً مع البنى الجزيئية التي تمر خلالها. وهنا لا يستخدم الجيولوجيون مجهرًا بصريًّا عاديًّا، من النوع الذي تجده في مختبر بيولوجي. بل يستخدمون مجهرًا تكون فيه مرشّحات خاصة تستقطب الضوء - لتجبر الضوء على التذبذب في اتجاه واحد فقط. والضوء المستقطب، بعد رحلاته عبر الشرائح المعدنية الرقيقة، يكون له تراكيب مختلفة من الألوان والظلال - غالبًا ما تكون جميلة ومدهشة. وكلٌّ من هذه التراكيب اللونية عند الجيولوجي الماهر يشي بنوع محدد من المعادن.

ومعظم الحبيبات المعدنية للحصاة، التي تفحص بهذه الطريقة، تكون بصفاء الزجاج، وبذلك فعندما يمر الضوء عبر مرشحي استقطاب اثنين، لا واحد وحسب، أحدهما أعلى الشريحة والآخر أسفلها، فإنها تظهر بظلال مختلفة من اللون الرمادي. وهذا هو

الكوارتز، أو ثاني أكسيد السليكون، إنه المعدن الذي يشكل عادةً الجزء الأكبر من معظم الرمال الطبيعية. ولعلك تحمل بلورة من الكوارتز، مصقولة بعناية لتتذبذب 32.000 مرة في الثانية عندما يمرر فيها تيار كهربائي صغير. وهذه الذبذبة يجري ترجمتها بعجيبة من عجائب الدارات الإلكترونية الميكروية، لتحصل على الوقت المضبوط لليوم في ساعة معصمك.

لا قيمة للكوارتز إنْ لم يكن متقلّب الوجوه، حيث إنه موجود في الصخور التي تبلورت من الصهارة (الصخور النارية)، وفي الصخور التي أعيد بناؤها تمامًا بالحرارة والضغط في أعماق الأرض (الصخور المتحولة)، بالإضافة إلى وجوده في الصخور الرسوبية. ويمكن أن يشكل بلورات جميلة، وعناقيد من الموشورات السداسية ذات الأطراف الحادة الأنيقة، عندما يتبلور من الماء الساخن داخل التجاويف الصخرية والعروق المعدنية في أعماق الأرض. ويمكن أن تكون هذه البلورات بلا لون، وإذا كان فيها مقادير من شوائب مختلفة فيمكن أن تعكس اللون البنفسجي (حجر الأرجوان)، أو اللون الوردي، أو اللون البني الدخاني، أو أي لون من ألوان قوس قزح وبضعة ألوان أخرى - بما يحار فيه اختصاصي علم المعادن المبتدئ. (لكن في شريحة رقيقة مجهرية تختفي عادة هذه الألوان، أو تكون بأرق درجاتها).

إلا أن معظم الكوارتز - ولنفترض أنه من النوع الذي يتبلور من صُهارة غنية بالسليكا تتبرّد فتشكّل صخور الغرانيت - يصنع حبيبات مشوهة، لا تشبه البتة ما يمكن أن يزين خزانة اختصاصي المعادن. فالكوارتز في الحقيقة غالبًا ما يكون معدنًا متواضعًا لا يلفت الانتباه. والبلورات المجاورة له في الغرانيت -من الميكا

والفلسبار- تنمو في وقت مبكر في الصُّهارة المتبردة، وتعطي شكلها المتبلور جيدًا. أما الكوارتز الذي يتكوّن متأخرًا فيظهر حول هذه البلورات المبكّرة، ويسكب نفسه على أشكالها. وبالطبع يبقى الكوارتز متبلورًا من الداخل، بسقالته الجزيئية الدقيقة من ذرات السليكون والأكسجين.

ولعل الكوارتز يصل متأخرًا، لكنه بعد ذلك يبقى طويلًا أكثر من جيرانه من المعادن. فالمعادن الأخرى، التي تولد في درجات حرارة أعلى، لا تحتمل بسهولة برودة ورطوبة سطح الأرض. فنرى أن البنية الجزيئية لهذه المعادن تتعرض للإجهاد فتتكسر - عندما يكون حولها ماء يسرع العملية - وتتفكك هذه المعادن. وعملية التفكك معقدة، ومثمرة، ومذهلة. لكن لها القليل من الأثر على الكوارتز. فمع تفتت سائر الصخور من حوله، ينطلق هذا المعدن المتين على شكل حبيبات، إلى التربة أو إلى الصخور الهشة أو إلى سرير النهر، تبدأ رحلتها الطويلة إلى رقعة صغيرة في قاع البحر؛ بانتظار أن تصبح حصاة.

والكوارتز معدن بسيط نسبيًّا، إلا أن لكلٍّ من حبيباته شخصيتها المستقلة. فكل حبيبة فيه يمكنها أن تنقل الباحث الفاحص لها إلى جزء مختلف من أفالونيا. فمثلًا حبيبة كوارتز واحدة، قد تظهر لنا تموجًا دليليًّا من نمط ظلال اللون الرمادي، عندما ينظر إلى الشريحة المعدنية عبر ضوء مستقطب. فتلك الحبيبة كانت أصلًا بلورة من الكوارتز تكونت في سلسلة جبلية متنامية، تشوهت بنيتها الجزيئية نتيجة الضغوط الهائلة عليها هناك. فإذا انتقلنا إلى حبيبة أخرى من الكوارتز، حبيبة لها نمط فسيفسائي مميز: فهنا يؤخذ المرء إلى أعماق أبعد في جذور حزام الجبال - فالقص

التكتوني هنا كان كثيفًا جدًّا بحيث أن بلورة الكوارتز تكسرت إلى فسيفساء من نطاقات بلورية صغيرة. وبعض حبيبات الكوارتز تتميز بأن فيها أيضًا بلورات أدق من المعادن الأخرى داخلها. ورفيق السفر الشائع لها هو الروتيل (أكسيد التيتانيوم)، الذي يُرَى كأنه بلورات شعرية؛ تكون رقيقة جدًّا أحيانًا بحيث يلزمها أفضل المجاهر البصرية على الإطلاق لرؤيتها بشق الأنفس. إلا أن هناك حبيبات كوارتز أخرى مكونة من عناقيد من حبيبات أصغر - أي أنها في الواقع شظايا صغيرة من صخر رسوبي قديم، نشأ أصلًا من نوع ما من الصخور النارية أو الصخور المتحولة في زمن أكثر إيغالًا في القدم، ثم أعيد إنتاجه بدوره.

إن الأمر أشبه بأن تكون في غرفة تعج بالمستكشفين، وكل منهم لديه قصة يرويها تختلف عما لدى الآخرين - فبعضها مغامرات في الأدغال الاستوائية، وبعضها في القفار القطبية، إلا أن بعضهم ركب الغواصات ليستكشف قيعان المحيطات. وهكذا الأمر مع هذه الحبيبات المتواضعة من الكوارتز: ولدت في أجزاء كثيرة متنوعة من أفالونيا، وبعد رحلات طويلة، تجمعت اليوم في الحصاة. وهناك مسافرون آخرون أيضًا، في هذه الحصاة كذلك، لديهم قصص يروونها أشد غرابة من تلك.

## حكايات المعادن النادرة

متواريةً بين حبيبات الكوارتز الوافرة، تستتر حبيبات معدنية أخرى، أقل شيوعًا، وأكثر تميزًا. ولكل حبيبة روايتها التي

تخصها. وغالبًا ما تكون قصص المعادن النادرة مقنعة جدًّا، وتأخذ الجيولوجيين إلى امتدادات غير معهودة لفك طلاسمها. فالزِّركون يرجح أنه بينها، وكذلك التورمالين، والتوباز والروتيل، والغارنت، والستوروليت، والمونازيت، والأباتيت - وهناك الكثير من أنواع هذه المعادن النادرة. وعادة ما تكون هذه المعادن قليلة جدًّا في مقابل الكوارتز، حيث في شريحة رقيقة نمطية يمكن للمرء أن يرى بالمجهر حبيبة أو حبيبتين منها بالصدفة. ولإيجاد عدد أكبر على المرء أن يلجأ إلى قياسات أكثر فعالية. فعلى المرء أن يسحق الحصاة بأكملها لتصبح جسيمات بحجم حبات الرمل، ثم يلقيها في دورق فيه سائل ثقيل، مثل البروموفورم (CHBr3). وفي هذا السائل مرتفع الكثافة، يطفو الكوارتز ومعادن أخرى على السطح ببساطة. لكن المعادن النادرة التي نبحث عنها، لها كثافة مرتفعة فتغوص إلى أسفل الدورق، فيمكن استخلاصها (ولذلك فكثيرًا ما تدعى «المعادن الثقيلة»).

وبهذه الطريقة، يمكن للمرء أن يجمع كمية كافية من هذه المعادن النادرة ليقوم بتحليلها. حيث تُكْشَفُ هويتها عادة باستخدام مجهر بسيط ذي عينين: إنه إجراء قديم الطراز، وهو بحاجة إلى الكثير من المهارة والخبرة لتمييز الدرجات الدقيقة من اللون والتألق والنسيج السطحي في هذه المجموعة الغريبة من المعادن المختلفة التي يمكن أن نجدها هنا.

وفي زمننا الحاضر يمكن للمرء أن يستعيض عن المهارة التخصصية التقليدية في المعادن بالتكنولوجيا - ولو أن أي تكنولوجيا تستلزم خبرة خاصة بها. فما عليك إلا أن تأخذ هذه الحبيبات وتضعها في مجهر المسح الإلكتروني، أو في قريبه

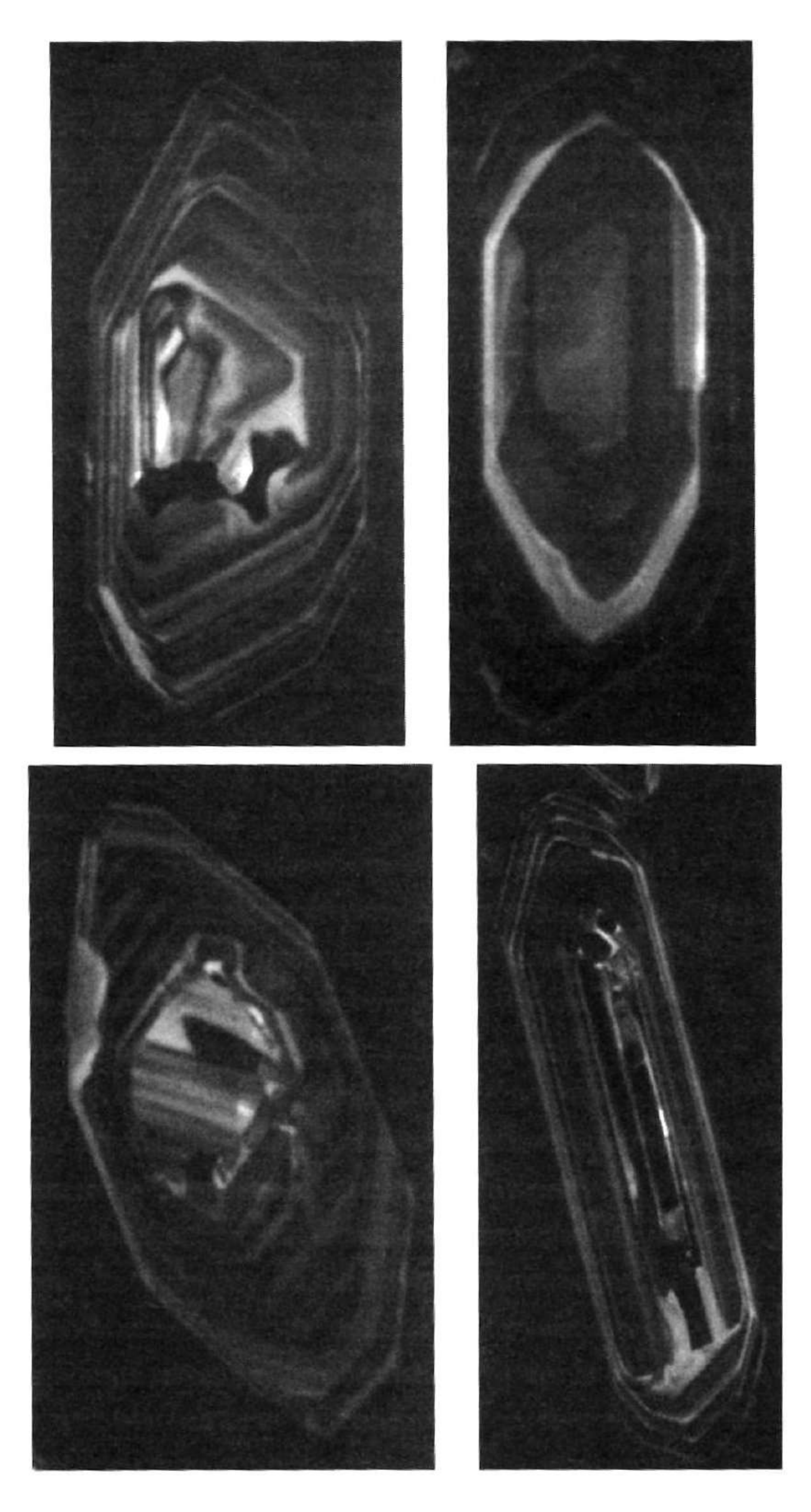
المسبار المجهري الإلكتروني (electron microprobe)، فكلتا الآلتين اليوم قياسيتان نافعتان جدًّا في المختبر الجيولوجي. وعند استخدام أي من هاتين الآلتين، تنطلق حزمة شعاعية مركزة بشدة من الإلكترونات على كل حبيبة، مما يجعل الحبيبة تصدر أنماطًا مميزة من الإشعاع تكشف نوع الذرات داخلها، وبذلك يمكن تحديد هوية المعدن: مثلًا الزيركونيوم في الزركون، واللانثانوم والسيريوم في المونازيت، والتيتانيوم في الروتيل، وتركيب من الكالسيوم والفوسفور في الأباتيت، ونحو ذلك.

وبأي وسيلة كانت، فقد أصبح لدى المرء مجموعة أخرى من العلامات التي تدله على مناظر اليابسة في أفالونيا؛ وهي في جزء دقيق مما هو اليوم مضغوط داخل الحصاة. وبما أن الزركون يتبلور داخل صهارة الغرانيت، وداخل أكثر الأجزاء سخونة من نوى الأحزمة الجبلية، حيث ينصهر الصخر تقريبًا (لكن ليس تمامًا). والغارنيت كذلك نموذج للصخور المتحولة، لكن ليس في هذه الظروف القاسية - فهو يكاد يغلي عند درجة 500 مئوية تقريبًا، ويجري له ذلك في أعماق تتراوح بين 10 و15 كيلومترًا. والأباتيت (فوسفات الكالسيوم) يمكنه - وينبغي له - أن يتبلور في عظامنا ليعطيها القوة، لكن بما أنه معدن ثقيل فهو عادةً يتشكل في صخور الغرانيت في درجات حرارة تصل إلى 900 درجة مئوية.

ومن بعض هذه المعادن، يمكن للمرء أن يكتب سيرًا تاريخية واضحة تمامًا. فالزركون يتحفنا بتفاصيل استثنائية من هذه الناحية. فسليكات الزركونيوم تركيب معدني من عناصر الزركونيوم، والسليكون، والأكسجين الموجود تقريبًا في كل

مكان. كما أنها ملاذ أيضًا لعناصر أخرى، عناصر من الصعب أن يوجد لها موطن معدني في مكان آخر. وهذه العناصر لها ذرات كبيرة صعبة المراس مثل الهافنيوم، والإيتريوم، والثوريوم، واليورانيوم. فليس هناك أي من المعادن التي تبني الصخور يحب استضافة هذه العناصر - لا الأوليفين ولا البيروكسين، ولا الميكا، ولا الفلسبار، ولا الكوارتز. إنها أزهار السياج الذرية، إذا جاز التعبير، ولا تجد شريكًا معدنيًّا يرافقها إلا عندما يبدأ الزركون بالتبلور.

وهي تكافئ هذه الاستضافة بتقديم صورة للأعمال الداخلية الجارية في حجرة الصهارة، كما تكشف لنا القدرات شبه الخارقة لمجهر المسح الإلكتروني. وإذا كانت بلورة الزركون مصقولة وأطلقت حزم الأشعة الإلكترونية عليها بزاوية، فإن بعض الإلكترونات سيقفز من السطح المصقول، ليلتقطها كاشف موضوع بطريقة خاصة. ولما زادت كثافة المعدن (وفي الواقع، كلما زادت الذرات ذات الأنوية الذرية الكبيرة)، زادت الإلكترونات التي تقفز، وبذلك تكون الصورة التي يلتقطها الكاشف أكثر سطوعًا. والكثير من حبيبات الزركون، التي



الشكل 2 - بلورات الزركون، كما يصوّرها مجهر المسح الإلكتروني؛ ولكل منها سيرة
تاريخية مستقلة، يكشفها نمط خطوط نموها.

ترى بهذه الطريقة، تظهر أنماطًا لافتة جميلة من الحلقات الساطعة والداكنة متحدة المركز. وعادةً ما تحتوي الشرائح الأكثر سطوعًا مقادير أكبر من الهافنيوم، أما الداكنة فتَقِل فيها ذرات هذا العنصر. وهذا يمدنا بنوع من آلة التسجيل لنمو كل بلورة، مع تغير تركيب الصهارة حولها بصورة دائبة. والأمر أشبه بتتبع تقلبات الجو كل دقيقة - لكن في هذه الحالة تكون الأحوال الجوية هي أحوال حجرة الصهارة التي انهارت منذ أمد بعيد، وكانت ذات مرة على عمق كيلومترات تحت سطح الأرض.

إلا أن هذه الكسرة من التاريخ ليست إلا مظهرًا ثانويًّا، إلى حدٍّ ما. فالدور الأساسي للزركون هو تمكين دارسي الأرض - أو دارسي الحصاة - من الإبحار، بدقة لا تضاهى، في البعد الرابع، عبر الزمن السحيق لتاريخ الأرض. إنه يجاملنا بتحويل المعادن، وهو نوع من الخيمياء الطبيعية لم يحلم به الباحثون في العصور الوسطى قط - مع أنه كان يحدث بصورة مستمرة تحت أنظارهم دون أن يلاحظوه (ولو كان صغيرًا جدًّا في الواقع)، مع أن أسلاف علماء اليوم قاموا بمحاولات حثيثة جدًّا، لكنها غير مثمرة، لإلقاء تعويذة لصنع الذهب بالخيمياء. ومفتاح الأمر هنا هو حلول اليورانيوم ضيفًا على الزركون.

اليورانيوم عنصر غير مستقر، كما اكتشف هنري بيكريل (Henri Bequerel) بالمصادفة سنة 1896، أو هو «عنصر إشعاعي بطريقة عفوية» بحسب وصف بيكريل له عندما اكتشف الإشعاع الغامض الذي يمكن أن ينتقل عبر طبقات سميكة من الورق؛ وحتى عبر صفائح التصوير الفوتوغرافي المغشاة المحمية بأكملها من أشعة الشمس. ولأكبر العناصر الشائعة، اليورانيوم، مجموعة متنوعة من الأشكال - أو النظائر - التي لكل منها عدد مختلف من النيوترونات يكافح للاحتفاظ بـ 92 بروتونًا في كل نواة ذرة، ويحاول منعها من مغادرة الذرة. لكن في نهاية المطاف، لا يسعها تدبر ذلك، فتتحطم النواة وقد غادرتها أجزاء منها؛ كبيرة أو صغيرة.

وفي اليورانيوم الأكثر شيوعًا، وهو اليورانيوم 238، الذي له 146 نيوترونًا تحرس البروتونات، تذهب نصف كمية اليورانيوم، وتتحول إلى رصاص، في 4.46 مليار سنة. وبالنسبة للنوع المستخدم في القنابل الذرية، اليورانيوم 235، الذي له 143 نيوترونًا، يكون النسق أسرع من ذلك، ولذلك فإن نصف عمره يكون أقصر، فيصل إلى 704 ملايين سنة (ولذلك فإن هذا النظير أكثر إشعاعًا، وأكثر خطورة علينا).

والرصاص، وهو النتيجة النهائية لهذا الانهيار، عادة ما يقيم داخل بلورة زِرْكُون قاسية (غير مرتاحٍ إلى حدٍّ ما؛ لأن الزِّرْكُون لن يستخدم أي رصاص في نموه - بل هو يستخدمه كأنه آلة للزمن). لذلك، فإنك إذا قمت بقياس كمية نظائر اليورانيوم والرصاص

المختلفة في كل بلورة باستخدام آلة عد الذرات الحديثة، مطياف الكتلة؛ وحددت فترة العمر النصفي لكل نظير بالدقة الممكنة؛ فمن ذلك يمكنك أن تحسب السنوات الماضية التي مضت على تشكل بلورة الزركون.

وطبعًا، لا بد من القيام بعمليات تحقق متقابلة، لأن حبيبات الزركون، في ثوائها الطويل تحت الأرض، ربما فقدت أو كسبت مقادير صغيرة من الرصاص أو اليورانيوم، فجعلت الساعة الذرية تعطينا وقتًا خاطئًا. ويمكن للمرء مثلًا أن يقارن بين تاريخي نظيرين من اليورانيوم داخل بلورة الزركون - فإذا اتفقا، فيفترض بالعمر أنه ملائم، لذا فالأرجح أنه يعتمد عليه. لكن إذا اختلفا، وأعطيا عمرًا غير ملائم، إذن فهناك ما أزعج أعمال الساعة الذرية، وبإمكاننا إهمال تلك النتيجة.

وحتى مع كل العناية والحذر المطلوبين، إلا أن هذه موهبة قيِّمة للجيولوجي. لأن معظم المعادن بكماء فيما يخص الزمن. فكل حبيبات الكوارتز هذه قد تحكي قصصًا مختلفة عن الصهارة المتبردة أو العروق المعدنية المتبلورة، لكنها لا تخبرنا متى حدثت هذه الأحداث. فالكوارتز في حبيبة ربما يكون قد تبلور قبل مليون سنة أو مليار سنة، ونحن ببساطة ليس لدينا أي وسيلة لنعرف عمره الصحيح. إنه لعجز مثبط للمرء أن يحاول إعادة بناء التاريخ لكوكب حافل بالأحداث (على الرغم من أن الكوارتز في الحقيقة يحتفظ بنوع خاص من زمن الأرض، زمنٍ حديث، كما سنرى فيما يأتي من حكايتنا). والمعادن التي هي من قبيل الزركون، تفتح لنا الأبواب للدخول في آلة الزمن، آلة يمكنها أن تجتاز زمن الكوكب بأكمله منذ بداياته.

واليوم، أصبح سجل تاريخ بلورات الزركون، للجيولوجيين، الميقات الرئيس لأحداث الزمن السحيق، والعمر «الصحيح» سيكون دقيقًا بما تزيد نسبته على 1% من العمر الإجمالي، أي زائدًا أو ناقصًا مليون سنة (أو أقل) لأحداث التبلور التي حدثت قبل مئات ملايين السنين - أو آلاف ملايين السنين. لقد بذلت جهود كبيرة للحصول من حبيبات الزركون على مستويات دقة أعلى بقليل من أي وقت مضى: من تصميم آلات أفضل لعدِّ الذرات، إلى تحسين تحديد معدلات التحلل الإشعاعي للنظائر المختلفة. أو تُزَال بلطف الأجزاء الخارجية من بلورات الزركون، لئلا يكون هناك احتمال لوجود تلوث. وهذا يتطلب الكثير من الجهد - إلا أن الزمن مهم على كل حال. ولا يمكن للمرء إلا أن يكون شديد الحذر معها.

ولعل حصاتنا تحتوي شيئًا يتراوح بين بضع عشرات وبضع مئات من بلورات الزركون المفردة. ويمكن وضع تاريخ لكلٍّ منها. ويحدِّد كل تاريخ بدقة (تبلغ 1% أو أقل من ذلك) نموَّ بلورة زركون واحدة، في حجرة ما للصهارة أو في جذور سلسلة جبلية نامية. وقد تلاشت كلتاهما اليوم منذ أمد بعيد من الأرض. لكن كم كان حجم حجرة الصهارة، أو كم كان طول السلسلة الجبلية، التي حدث فيها ذلك؟ هنا يلعب الجيولوجيون لعبة الأرقام. فيعمد أحدهم إلى تسجيل تاريخ الكثير من بلورات الزركون في عينة ما، ويرى نوع المجال الذي تتراوح فيه أعمارها، وكيف تكتلت هذه البلورات. فهذا سيعطيه نظرة، كأنها من وراء ضباب كثيف، إلى أحداث جليلة مهمة حدثت قبل زمن بعيد.

ولعل حصاتنا تسفر لنا عما أصبح يعرف بأنه توقيع أفالوني نمطي. فالكثير من حبيبات الزركون ستكون أعمارها أكثر بقليل من 600 مليون سنة، وبعضها سيكون عمره 700 مليون سنة وأكثر. وهذه الحبيبات يعتقد عادة أنها ناتجة من مراحل من الثورانات البركانية الضخمة على تلك القارة في ذلك الزمن؛ مرتبطة بتصلب حجرات الصهارة في أعماق الأرض؛ وكل مرحلة تدوم عشرات ملايين السنين. ثم هناك ندرة في هذه البينات حتى مليار سنة خلت، عندما ظهر عنقود آخر من حبيبات الزركون. وقد يكون ما حدث هو أن بضع حبيبات من الزركون قديمة جدًّا ظهرت - حتى إنها أقدم من القارة نفسها، فرضًا بنحو ملياري سنة. فكيف حصل ذلك. حسنًا، لقد ارتطمت أفالونيا في رحلاتها بقطَع أقدم منها من القشرة أو لعلها اتصلت بها (كحال أجزاء من إفريقيا اليوم)، ونتجت من ذلك رواسب (كان منها حبيبات الزركون القديمة جدًّا) جرفت بعد ذلك. وبصورة مشابهة، فإن عدد حبيبات الزركون في أفالونيا يمكن أن يظهر فوق بقايا قارات سالفة، وكأنها نوع من بطاقات الاتصال لكن بالمعادن.

لقد تلطخت سيرة هذا التاريخ إلى حد أنه لم يعد يعتد كثيرًا بالثَّوَرانات البركانية المفردة، حتى لو كانت ثَوَرانات عظيمة بعظم بركان كراكاتوا. بل ما يعتد به هو الانجراف الواسع، الذي تضيع داخله التفاصيل. حتى إن الأكثر ضياعًا هو شكل (أو طبعًا: أشكال) مظاهر اليابسة التي تتطور في أفالونيا؛ التي أسفرت عن ظهور هذه الحبيبات من الزركون. وبعد أن اكتملت مظاهر اليابسة تمامًا بحيث لم تبق إلا كسرات تقل أبعادها عن المليمتر (ولو كانت هناك تريليونات منها اليوم)، يأتي السؤال: هل كانت تلك البراكين متناسقة تناسقًا جميلًا مثل بركان فوجي، أو أنها

انهارت جزئيًّا كما في بركان جبل القديسة هيلينا؟ لقد نجت كسرات صغيرة من أفالونيا، وبعضها نجت بصورة جميلة لتخبرنا حكايات طويلة وشائقة. إلا أن خطوط المناسيب التضاريسية اللاحقة لمظاهر اليابسة هذه اختفت، بصورة لا رجعة فيها. وهذا هو قدر أي مظاهر لليابسة ترتفع فوق البحر لتواجه مطحنة التحاتِّ والتآكل.

ولادة الطين

هناك مكون آخر من مكونات الحصاة ينتج من ذلك الدمار. إنه مكون رئيس - وهو المكونات الرمادية لهذا الصخر الرمادي. وهي تفوق المكونات في الطبقات الشاحبة الغنية بالرمال. لكنه المكون الذي من المذهل أنه يصعب إرجاعه إلى شكله الأصلي. إنه الطين.

فالحصاة لم تعد من الآن حصاة طينية، بل صخرة من الإردواز. فقد عُصرت الرواسب الأصلية وسُخنت حتى أصبحت صخرة قاسية، والمادة التي كانت طينًا ذات يوم تغيرت طبيعتها. وفي شريحة رقيقة، تحت المجهر، تكون ظلال اللون الرمادي لحبيبات الكوارتز قليلة العدد بالمقارنة ببلورات تشبه الشفرة تزهو بألوان براقة - حمراء، وخضراء، وصفراء، وزرقاء - عندما توضع بين مرشحات الاستقطاب. وهذه اليوم أنواع من بلورة الميكا، بصورة أساسية. إلا أنها كانت يومًا أصغر، وأصغر بكثير: كانت جسيمات

صلصالية دون مجهرية من التربة الطينية والرسوبيات في أفالونيا.

عندما هجمت الرياح والأمطار على مظاهر اليابسة في أفالونيا، كان هجومها كيميائيًا بقدر ما كان ميكانيكيًّا. فالمطر كان مطرًا حامضيًّا، أكثر حامضية من الأمطار الحامضية اليوم، فقد كان الغلاف الجوي قبل نصف مليار سنة - بقدر ما نتصور - أكثر غنًى بثاني أكسيد الكربون مما هو عليه الآن (مع أن حضارتنا الصناعية تتسارع خطاها بصورة مثيرة للوصول إلى تلك الحال). فثاني أكسيد الكربون ينحل في مياه الأمطار؛ فيصنع حمض الكربونيك. وربما في بعض الأحيان تتبدّل كيمياء الماء على السطح كذلك؛ في بدايات حياة اليابسة على الكوكب. واليوم، تنطلق الأحماض الدُّبَالية (العضوية) من النباتات الحية والميتة عند سطح اليابسة مسببة تآكل الكثير من المعادن. وفي ذلك الحين، لم يكن ثمة أشجار، ولا سراخس، ولا أزهار، ولا حشائش. لكن لعله كان هناك، في الأماكن الظليلة الرطبة، نمو لطحالب وفطور وحيدة الخلية، وربما كانت هناك أشكال بسيطة شبه ورقية تمثل الحشائش الكبدية في أيامنا. لكن حتى هذه النباتات الرائدة على اليابسة كان بإمكانها التعجيل في انهيار المعادن.

وعند السطح، تتآكل الصخور، وتتحول إلى فتات كفتات قطع البسكويت. وهذه العلامة الظاهرة لتلف المعادن لا تعبر عن هول التغيير في المستوى الجزيئي؛ حيث تتفكك قباب كقباب الكنائس الكبيرة من معادن بدرجة حرارة مرتفعة، لتتشكل رقائق وصفائح من معادن الصلصال، تكون صغيرة جدًّا لدرجة أن غرامًا واحدًا

من الصلصال يمكن أن ينتشر (إذا كان للمرء الصبر الكافي) ليغطي مئات من الأمتار المربعة. والرقائق الصغيرة جدًّا، كحال آبائها من المعادن، هي بصورة أساسية سليكات الألمنيوم: أي أن كتلها البنائية الأساسية هي عناقيد ذات شكل هرمي من السليكون، والألمنيوم، والأكسجين، منتظمةً في صفائح؛ تلتصق بها التصاقًا ضعيفًا إلى حدٍّ ما مجموعةٌ متنوعة من الشوارد المشحونة: من الكالسيوم، والمغنزيوم والحديد، والبوتاسيوم والصوديوم، وغيرها معها.

عندما تتشكل هذه الرقائق، يمكن أن تغادر الصخرة الأم، وتشكل جزءًا من طبقة التربة. ولعل تربة أفالونيا كانت أرق من تربة اليوم: فبانعدام الغابات والأراضي العشبية، لعله لم يكن هناك إلا القليل من الدُّبَال. وبانعدام الغطاء النباتي، كانت التربة تهبط بسرعة أكبر على المنحدرات، بفعل الجاذبية ومياه الأمطار. وبعد أن تغادر تلك التربة، يمكن أن يحملها ماء السيل أو النهر؛ وبعد أن تجف يمكن أن تعصف بها الريح إلى مسافات بعيدة. والجسيمات الأصغر تكون خفيفة جدًّا؛ بحيث إنها قد تجتاز المحيطات لتصل إلى اليابسة في قارات أخرى، كما يحط اليوم غبار الصحراء الكبرى في أوروبا.

إن رقة هذه الجسيمات، وخفتها، تعني أن دروبها سرعان ما تنحرف عن دروب حبيبات الرمل، التي تحررت معها من وجوه الصخر المتحلل. فبعد أن تنجرف حبيبات الرمل إلى النهر، يقودها التيار عبر سرير النهر، فتمضي معه متدحرجة ومتواثبة؛ فهي عادةً ما تسافر بأشكال تموجية أو كثيبية عبر أسرة الأنهار في تيار ينساب سريعًا. وعندما يتباطأ التيار، تتوقف هذه الحبيبات

الرملية. إلا أن جسيمات الصلصال تُحمَل معلقةً فوق هذا السجاد الرملي المتوقف، فتسافر إلى أنحاء أبعد وبسرعات أكبر، وتتحرك حتى في التيار البطيء. ولا يمكن لرقائق الصلصال الدقيقة أن تبدأ في الاستقرار إلا عندما يتوقف الماء عن الحركة.

وبهذه الطريقة تنفصل مكونات ما كان يومًا صخرة واحدة، تنفصل أثناء انتقالها بالرياح والمياه المنسابة، وترتَّب تبعًا لحجمها، وشكلها، وكثافتها، وتصبح أكثر انتشارًا كلما طالت رحلتها. وفي حصاتنا، لا بد أن الطين قد قطع دروبًا مختلفة عن حبيبات الرمل، ولعلها كانت دروبًا أطول، ولا بد أنه أتى من أجزاء مختلفة من أفالونيا. وربما كانت هناك بضع جسيمات قد أتت من قارات أخرى، حملتها الرياح عاليًا في الغلاف الجوي.

وهناك مكون آخر للحصاة سيكون له مصدر أكثر اتساعًا، وهو حرفيًّا من أي جزء من الأرض، فمعادن الصلصال ليست المنتَج الوحيد للتجوية الكيميائية للصخور عند سطح الأرض. ففي التفكك الأصلي للمعادن، تنطلق بعض الذرات مباشرة لتنحل على شكل شوارد مشحونة، خاصة من الصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنزيوم.

وعندما تنحلّ، فإن الكثير من هذه المادة يستمر ببساطة بالسفر باتجاه البحر، بوساطة ما ندعوه «المياه العذبة» - مع أنها مياه متنوعة العناصر الكيميائية تحوي أملاحًا منحلة، ويمكن للمرء أن يلاحظ ذلك بالنظر إلى ما كتب على أي قارورة للمياه المعدنية. وهذه الأملاح المنحلة هي ما يجعل البحر مالحًا، على مر ملايين السنين. وبعض هذه االمادة سيجد طريقه إلى الحصاة كذلك - لكن

في هذه الحال فإن الكثير منها لن يكون من أفالونيا، بل سيكون فعليًّا من أي مكان على سطح الأرض. وهذا هو المكون الأكثر عالميةً لأي صخرة، والكثير من الرحلات حول العالم ربما حدثت قبل أن ينتهي بها المطاف إلى الاستقرار. وعندما تكون في البحار، يمكن أن تبقى المادة المنحلة هناك، وإذا لم يكن بقاؤها هناك أبديًّا، فهي على الأقل ستبقى هناك لأمد طويل جدًّا، وستسافر مرات كثيرة حول البحار والمحيطات، تحملها التيارات البحرية، قبل أن يحين موعد استقرارها.

يتوقّف الزمن الذي تبقى فيه المادة في المحيطات، والمسافة التي تقطعها، على ماهية المادة. وعلماء البحار الذين يدرسون هذه الظاهرة يشيرون إلى «زمن بقاء» العنصر، الذي هو متوسط بقاء جسيم للعنصر في البحر. وبالنسبة لبعض العناصر يكون ذلك الزمن أمدًا شاسعًا. فمثلًا شاردة الصوديوم المتوسطة يمكنها أن تسافر في المحيطات لنحو 70 مليون سنة قبل أن تستقر، وذلك ببساطة لأنه على الرغم من أن المحيطات فيها كميات هائلة من الصوديوم (حوالي 10.000 مليون مليون طن، في آخر إحصاء لها)، إلا أن بمقدورها أن تحمّل المزيد منها. لكن بالنسبة للعناصر الأخرى الأقل انحلالية في الماء يكون زمن بقائها أقصر من ذلك. فشاردة الألمنيوم المتوسطة تمضي 200 سنة فقط في البحر قبل أن تخرج من محلول البحر. لكن بعض هذه المواد تجد نفسها في حصاة، وتحتاج إلى حامل يحملها: مثلًا شاردة مغنزيوم منحلة يمكن أن تربط نفسها برقاقة صلصال مارة بها. أما سائر المواد فهي بحاجة إلى عملية أكثر تعقيدًا بكثير، وهي عملية ندعوها الحياة. لكن ذلك جزء من قصة مستقبلية.

لذلك نترك هذه الفقرة هنا. ففي مكان ما في الحافة الشمالية لأفالونيا، تدخل الأنهار في البحر. وهذه الأنهار تحمل ما لا يحصى من حبيبات الرمل والطين إلى ذلك البحر - وهو بحر يمتلئ بالأملاح المنحلة لنحو 3 مليارات سنة. ومنذ الآن على البحر أن يحمل هذه الجسيمات إلى مستقرها الأخير.



# الملتقى

قوى الطبيعة

قبل القيام بأي حملة كبيرة، يكون هناك تجميع لكل القوى - من العشائر إلى العساكر إلى الأُجَراء - القريبة منها والبعيدة، وعلى مسارات مختلفة. وعندما تلتقي هذه القوى، تسافر معًا في جماعة واحدة، ومصائرها منذ ذلك الحين مرتبطة بعضها ببعض، إنْ خيرًا فخير، وإنْ شرًّا فشرّ.

والجسيمات الراسبة لحصاة المستقبل أصبحت تتجمع، حول شواطئ أفالونيا، في العصر السيلوري، في رحلة ستأخذها إلى دار إقامة، وهي مكان لن ترى فيه الضوء ما يزيد على 400 مليون سنة. وحبيبات الرمل مع رقائق الطين، بكل تنوعاتها وسيرها التاريخية المختلفة، جرفت إلى شاطئ تلاشى منذ زمن بعيد بوساطة أنهار أفالونيا؛ أنهار لم تكتشف بعد، ولم توضع لها خرائط أو أسماء، من قبل الجيولوجيين المستكشفين في عصرنا اليوم. والأرجح أن هذه الأنهار لن توضع لها خرائط مطلقًا، فهي في جريانها كانت تحاتُّ نفسها، وتجرف معها ممراتها، فقد كانت أفالونيا تتفكك، حبيبة بعد حبيبة، بفعل العوامل الجوية الأبدية التي لا تكل ولا تمل. وكل ما بقي منها هو الحمولة التي حملتها، أمتعة من الرمال، والطين، والحصى.

ولا يبعد الشاطئ القديم أكثر من 50 ميلًا عن شاطئ حصاتنا اليوم غربي ويلز. إنه ينبسط جنوبًا، حول ما يدعى اليوم بِمْبرُوك شايَر جنوبي ويلز. فكيف كان يبدو، ذلك الشاطئ القديم؟ حسنًا، لعله كان يماثل شاطئ بمبروك شاير الوعر اليوم، مع أنه كان يواجه الشمال لا الجنوب، في مقابل منطقة من البحر المفتوح تحولت فيما بعد إلى جبال ويلز.

أما مواد الحصاة، فقد كان يعد اجتيازها لذلك الشاطئ عبورًا إلى عالَم جديد. فمع دخول مياه الأنهار في البحر، كان اندفاعها يتباطأ. والحبيبات الراسبة، التي لم يعد التيار النهري يقودها، تكومت حول ثغور الأنهار على هيئة الدلتا، أو في طمي مصبات الأنهار. إلا أنها لن تبقى ساكنة طويلًا، فالشواطئ أماكن لتبادل الطاقة. وهناك قوًى جديدة تتحكم بهذه الجسيمات الرسوبية: الرياح والمد والجزر والأمواج، القوى التي على بحارة اليوم احترامها، وفهمها، وتوقعها. ولو انتقل أي بحَّار فجأة عبر الزمن، مع قاربه وكل ما فيه، إلى شاطئ من العصر السيلوري، فإن الرياح ستفعل به كما تفعل اليوم تقريبًا. إلا أن حركات المد والجزر في العصر السيلوري ربما تجعل البحار اللبيب يقف مشدوهًا. فقد كانت أكثر قوةً بقليل مما هي عليه اليوم.

وفي الذاكرة الإنسانية، حيَّرَ المد والجزر الفلاسفة والعلماء، والملاحين (من الناحية العملية)، لأمد طويل من تاريخنا المدوَّن. والسؤال فقط هو لماذا يرتفع وينخفض مستوى البحر بهذا الانتظام، فيغمر حافة اليابسة ثم ينحسر عنها، محدِثًا تيارات يمكنها أن تدفعك بدايةً داخل اليابسة، ثم ما تلبث أن تسحبك إلى البحر؟ لقد رأت الأساطير والخرافات في هذه الظاهرة تنفس إله

البحر الكبير، أو ربما نبض قلبه. إلا أن أسلافنا كان لهم اهتمام كبير بالسماء أيضًا - السماء التي كانوا يرونها عظيمة ومشرقة، وكانت تمتد في وعي الإنسان بطريقة يصعب تخيلها في حياة المدن التي نعيشها اليوم بالإضاءة الاصطناعية في كل مكان.

لقد كان من الواضح أن نمط حركات المدّ والجزر له علاقة ما بأطوار القمر: فعلى سبيل المثال سجل بليني الكبير العلاقة الواضحة بين الاثنين، وكذلك فعل الفلكي القريب من عصره سلوقس السلوقي (Seleucus)، الذي كان يرى أن القمر يضغط على الغلاف الجوي للأرض. أما بيدا المكرم (Venerable Bede)، وهو عالم في الطبيعة وفي الدين، فقد لاحظ أن أمواج المد كانت أمواجًا ضخمةً ومتصاعدة تتحرك على طول ساحل شرقي إنكلترا.

لكن العالم الفرنسي الماركيز لابلاس (Laplace)، هو الذي حل بصورة أساسية ما دعاه «المشكلة الشائكة في جميع الميكانيكا السماوية». لقد أدرك أن حركة المد والجزر هي انتفاخ مؤقت للماء لا يسبّبها وحسب أثر جاذبية القمر على مياه الأرض، بل كذلك قوةٌ نابذة مركزية تمنع الجرمين الدوّارين من سقوط أحدهما على الآخر - وبذلك لا يكون هناك انتفاخ في الماء فقط في جانب الأرض القريب من القمر، بل يكون كذلك على الجانب المقابل له (فيسبب موجتي مد عاليتين وموجتي جزر منخفضتين كل يوم). وهناك تأثير للشمس كذلك، فيمكنها أن تجعل موجات المد أعلى (كما في المد الربيعي) أو أدنى (كما في المد الناقص) تبعًا لما تضيفه إلى المد القمري (عندما تكون على خط واحد مع منظومة

الأرض والقمر) أو تنقصه منه (عندما تقع الأرض والقمر والشمس على زاوية قائمة).

وهكذا، وبينما ترتفع هذه الانتفاخات الواسعة في الغلاف المائي للأرض وتسافر في سطحها، تتولد التيارات، جاريةً باتجاه ذروة الانتفاخ، بينما يتجمع الماء في أمواج المد في أي مكان، ثم ينحسر الجزر مع تحرك ذروة المد. وهذه هي التيارات التي يمكن أن تبتلع السياح المتهورين وهم يحاولون عبور مصب نهر، وهي التي تجرف الجسيمات الرسوبية جيئة وذهابًا، فإما تخرجها من البحر أو تكومها قرب الساحل مثل الرمال المَدِّية والمسطحات الطينية. إلا أن لابلاس الفطِن كان ذكيًّا جدًّا فاستنبط تفاصيل هذه الآلة المعقدة لأمواج المد والجزر عند سطح الأرض، كما كان حكيمًا جدًّا فغادر باريس والثورة الفرنسية على أشدها - فحفظ رأسه بينما تدحرجت رؤوس آخرين كثيرين.

إنها تقريبًا آلة حركة أبدية - لكن طبعًا في هذا العالم لا شيء بلا مقابل. ولذلك فإن العالَم يتباطأ. فالطاقة التي رفعت أمواج المد تأتي من كمية الحركة لمنظومة الأرض والقمر والشمس، وبما أن هذه الطاقة قد استخدمت، فإن الأرض تبطئ في دورانها حول نفسها، والقمر يبتعد شيئًا فشيئًا. لذلك، وقبل 430 مليون سنة، كان القمر أقرب، وكانت الأيام أقصر، وكان عدد الأيام في السنة أكثر بقليل من 400 يوم. وكانت أمواج المد أعلى منها اليوم، ولذلك كانت التيارات المدية تجرف الرسوبيات بقوة أكبر منها اليوم عبر قيعان البحار الضحلة.

ومن ثم كانت هذه المياه الساحلية، التي وجدت جسيمات حصاتنا نفسها فيها، مياهًا هائجة باستمرار إلى حدٍّ ما، نتيجة الرياح. وكان ذلك لغزًا آخر حير طويلًا الناس الذين يسعون لفهم كيفية عمل الأرض. فما الذي يجعل الرياح تهب - أحيانًا بلطف (أو لا تهب البتة، في الأيام الهادئة التي يكون فيها البحر كأنه زجاج) وأحيانًا بعنف يكفي لاقتلاع جذور أشجار كبيرة، أو قذف قارب ضعيف في وجه شاطئ صخري؟ ولماذا تأتي الرياح من بعض الجهات أكثر من الجهات الأخرى؟ إن الرسوم البسيطة للقدماء تظهر جليًّا أحيانًا إلهًا أو ملاكًا وجنتاه منتفختان، ينفخ بقوة فوق سطح الأرض.

ونتيجة الافتقار لرابط واضح بين المد والجزر وأطوار القمر، وبذلك لظاهرة منتظمة - وبذلك ظاهرة يسهل تفسيرها علميًّا - فإن الرياح كانت أحجية حقيقية لأسلافنا القدماء، ولذلك فقد استدعوا مجموعة متنوعة من الآلهة لتفسير حدوثها، أو على الأقل ليلقوا عليها باللائمة فيها. فنرى نيورد إله الريح في الأساطير النرويجية مثلًا، أو فايو إله الريح عند الهندوس. والإله ستريبوغ عند السلافيين كان جد ثمانية اتجاهات للريح. وعند اليابانيين القدماء، كان فوجين يخطو حول العالم وهو يحمل كيسًا يمتلئ بالرياح على ظهره. وهناك كثرة كاثرة من آلهة الريح حكمت اليونان القدماء. فكان هناك إله العواصف إيولوس، ابن هيبوتيس (وهو ليس إيولوس ابن هيلينا، ولا إيولوس ابن بوسيدون)، الذي كان القيم على أربع رياح: بورياس، ونوتوس، ويوروس، وزفيروس - وهي رياح الشمال، والجنوب، والشرق، والغرب، على الترتيب، التي ربما صوّرت بصور فرسان مجنحين، أو خيول مجنحة - أو بصورة مجردة وبسيطة، رياحًا وحسب. وعلى سبيل المثال كان

زفيروس اللطيف قد أعطاه إيولوس إلى أوديسيوس في حقيبة، فنفخ زفيروس ذلك البطل باتجاه الشرق وطيّره إلى موطنه في جزيرة إيثاكا اليونانية. وللأسف، كان الحقيبة تحتوي الرياح الأخرى كذلك. وهذه الرياح الإضافية، أطلقها رجال أوديسيوس مباشرة قبل الوصول إلى هدفهم، فنفختهم وطيرتهم إلى حيث كانوا. ولم يكن إيولوس سعيدًا بذلك.

وبالرجوع إلى تفسيرات أكثر عقلانية، كان زينوفانس في القرن الخامس قبل الميلاد قد جازف بافتراض أن الرياح، والأمطار معًا، والسيول والأنهار كانت مستحيلة لولا وجود «البحر الكبير». وهو أمر غير صحيح تمامًا (على الأقل بالنسبة للرياح)، لكنها على الأقل رمية في الاتجاه الصحيح. وبالصدفة لم يكن لدى زينوفانيس ما يقبل به فكرة أن تكون الآلهة بأجسام بشر (فهو يقول: لو كان هناك ثور مفكر، هل كان سيتخيل إلهًا على شكل ثور؟)، متأملًا فيما قد تعنيه الأحافير (وقد ظنها عالمًا غمرته المياه ذات مرة)، وبصورة عامة اعتقد أن هناك حقيقة للواقع موجودة في مكان ما إلا أن البشر ليست لديهم وسيلة (بعدُ) ليكتشفوها. الظاهر أنه رجل رائع.

ومضت السنون حتى جاء القرن السابع عشر، في إيطاليا، ووضع أصبعه على (EvangalisaTorichelli) إيفانغليستا توريشيلي السبب الحقيقي. توريشيللي، الفتى اللامع من أسرة فقيرة، تربى تربية يسوعية في مدينة فاينزا [شمالي إيطاليا] - أو ربما في روما (فسجل سيرته غير واضح). وكبر ليصبح رياضيًّا ملهَمًا، وأصبح من المعجبين بغاليليو، وطالبًا من طلابه لمدة وجيزة. وقد اشتهر باختراع مقياس الضغط البارومتر (ولذلك تدعى إحدى وحدات

الضغط باسم تور نسبةً إليه) ولعله يعد مكتشف اللاشيء: فقد كان أول إنسان ينشئ الفراغ - فقد قال إن إنشاء الفراغ هو شيء يمكن عمله على الرغم من النفور المعتاد للطبيعة من هذه الحالة. وقد أدرك توريشيللي أن الرياح تنشأ نتيجة وجود كتل مختلفة من الهواء على سطح الأرض بدرجات حرارة مختلفة، ولذلك فهي ذات كثافات مختلفة - ولذلك ستجري هذه الكتل الهوائية بصورة نسبية؛ بالنسبة إلى بعضها بعضًا.

إنها الشمس (لا البحر كما ظن زينوفانيس) هي التي تقود هذا المحرك، فهي تسخن الهواء في الأقاليم الاستوائية، بحيث يتحرك إلى الأعلى ثم إلى الخارج، فينتشر ويبترد ويغور، وينحرف نتيجة دوران الأرض حول نفسها، ويسير في أشكال حلزونية؛ على أنماط الرياح والأمطار التي نشعر بأنها الحالة الجوية يومًا بعد يوم.

إن الرياح، وهي تجري فوق البحر، تلامس سطح الماء، وتُمَوِّجُه في تَمُوُّجات صغيرة. وتصبح هذه التموجات أكبر مع استمرار الرياح بالهبوب، ثم تصير أمواجًا صغيرة، ثم تصبح أمواجًا كبيرة، تنتقل على سطح المحيط. ويمكن للأمواج أن تسافر آلاف الأميال، قبل أن تتحطم عند شاطئ بعيد. والماء نفسه لا يسافر هذه المسافات البعيدة - بل هو ناقل للطاقة، وليس كتلة. فمع مرور الأمواج، يتحرك الماء ببساطة في مدار دائري، مدار بحجم المسافة بين قمة الموجة وجوفها: ويمكن للمرء أن يرى ذلك بمراقبة حركة شُذْفة طافية على سطح البحر. وفي المياه الضحلة، يمكن أن «تلامس» هذه الحركات المائية ذات الحجم الصغير قاع البحر، فتحرك الجسيمات الرسوبية جيئة وذهابًا. ويتكوم الرمل

في خطوط من التموجات، بينما تعلق رقائق الطين بالماء؛ ولا تستقر إلى أن تصل إلى قاع البحر دون أن تثيرها هذه الحركة، في بركة شاطئية محمية أو في مصب نهر محمي، أو في سكون أعماق البحر، حيث لا تصلها إثارة الأمواج.

إن جسيمات حصاتنا، في انتقالها من اليابسة إلى مستقرها في أعماق البحار، ربما تكون قد انجرفت بسبب أمواج المد والجزر، وأثارتها الأمواج على طول الساحل السيلوري، قبل نحو 420 مليون سنة - بلطف في الأيام المشمسة الصافية، أو بقوة في اهتياج العواصف القديمة. وفي أثناء عبورها هذه النُّسُج المتشابكة من أنماط نقل الطاقة، تفرقت الحصى بصورة أكبر عن حبيبات الرمل، التي بدورها تركت صحبة رقائق الطين الناعمة. ويتفاعل كلٌّ من الجسيمات الرسوبية المختلفة بطريقته الخاصة مع شد الماء له، فيترك دروبًا مختلفة في قاع البحر - ثم تنضم إلى بعضها بعضًا من جديد في تراكيب جديدة من مصادر مختلفة، مع دفعة من تيار ساحب (rip current) هنا أو تيار مدي هناك. فتتصادم، وتتواثب، وتغيّر شكلها، فتصبح ناعمة مستديرة - خاصة إذا وجدت نفسها عند السِّير الناقل المتنقل المتآكل للشاطئ.

وسنجد الحياة - الحياة التي كانت وافرة في البحار السيلورية الضحلة. فعلى سبيل المثال، الحبيبات المتحركة سوف تدفع جانبًا من قبل أزواج كثيرة من الأرجل التي تدفع ثلاثيات الفصوص المنقرضة الجذابة، التي كانت تبدو كأنها كثير من قمل الخشب مفرط النمو، وهي تدفع نفسها عبر قاع المحيط. وثلاثيات الفصوص هذه كانت كائنات مفترسة، قرب قمة السلسلة الغذائية. فقد كانت تصطاد الكائنات التي لها علاقة حميمة بالحبيبات التي

ستكوِّن الحصى: فهي تأكلها. وكانت رسوبيات قاع البحر الطيني مغذية لها - ليس كثيرًا بحد ذاتها، بل لأنها تحتوي البروتينات، والدهون، والكربوهيدرات في بقايا الحيوانات والنباتات الميتة، وكذلك في شكل ميكروبات تقوم بالانهماك والمثابرة على تحلل هذه الجثث. وهذا المزيج المغذي، من الحساء الرسوبي، يؤكل، ويهضم، ويطرح، من قبل جيش من الديدان والرخويات ذوات الجحور. وبما أن جسيمات حصاتنا المستقبلية قد سافرت عبر أحشاء هذه الكائنات، فإن تركيبها قد تغير بصورة بديعة: فجسيمات الصلصال خاصةً، وجد أنها تغير تركيبها الكيميائي، لتقايض مجموعة من الذرات الفلزية بمجموعة أخرى في أحشاء ديدان البحر الحديثة؛ ومن شبه المؤكد أن الديدان السيلورية كانت لها أحشاء ذات وظيفة مماثلة.

وتفاعل جسيمات حصاتنا مع الحياة الغريبة في تلك الحقب لم يكن دائمًا تفاعلًا لافاعلًا أو حميدًا هكذا. فالرسوبيات يمكن أن تقتل الحياة بقدر ما هي تعين على الحياة. فبعض كائنات قاع البحر لا تأكل الطين، بل هي بدلًا من ذلك تتجنبه. وهذه هي المتغذيات بالترشيح، حيث تمد مجساتها الناعمة لتصفي الكائنات المجهرية من ماء البحر. فإذا امتلأ ذلك الماء بالرسوبيات، نتيجة عاصفة أو فيضان نهر، وتعطلت آلية التغذية وغلبت على أمرها: فإن الحيوانات -المرجانية مثلًا، أو عضديات الأرجل (الصدفيات المرجانية)]- تختنق أو تموت جوعًا. وهذه مخاطرة طبيعية في الحياة البحرية، وهي أمر مشاهد رسوميًّا في الطبقات الأرضية، حيث تستقر مستعمرات أحافير من كائنات المتغذيات بالترشيح تحت طبقة الرسوبيات التي قتلتها. وبين هذه الحبيبات في الحصاة سيكون هناك بعضها -أو حتى الكثير منها- عاش ذلك الماضي

المظلم: إلا أن الحبيبات القاتلة ستبدو كأنها بريئة براءة الحبيبات التي تجاورها.

ولعل الأحداث الحاسمة هي الأحداث التي نقلت كذلك جُسيمات الحصاة فقربتها من مكان قرارها الأخير. فالعاصفة الكبيرة ليست مجرد عاصفة تشوه البر والبحر، لكنها كذلك آلية لنقل الرسوبيات؛ حتى إلى خارج البحر. فعند ارتفاع العاصفة، يمكن أن تكوم الرياح كتلة من الماء على اليابسة، وهي كتلة تكون عالية نتيجة الضغط المنخفض في الهواء الذي يعلوها، وهي حرفيًّا ترشف سطح البحر إلى أعلى. وهذا هو اليوم ما يستبد بمدينة ساحلية خاب حظها لوقوعها على درب عاصفة كبيرة - مثال ذلك: مدينة نيوأورليانز عندما واجهت إعصار كاترينا. لكن العاصفة تركت أثرًا ببصمة نهائية لها، واسعة الانتشار في قاع المحيط. فبعد أن هدأت الريح، وامتلأت منطقة الضغط المنخفض، عادت كتلة الماء لتستقر في البحر. وأصبحت أكثر كثافة نتيجة الرسوبيات المثارة فيها، وهي رسوبيات أثارتها أمواج عاتية، فانسابت باتجاه البحر. وهذه الظاهرة - التي اصطلح عليها باسم تدفّق انحسار العاصفة - تنسكب عبر قاع المحيط. ومع تباطؤ الماء واستقراره، فإنه يرسم بساطًا من الرمل والطين معًا، مع بقايا كائنات قاع البحر غير المحظوظة التي اقتلعت من مواطنها (وهذه طبعًا يمكن أن تدفن وتخنق كائنات أخرى جانبها الحظ، كانت نجت من الاضطراب الهائل في قلب العاصفة). إنه سرير جديد للرسوبيات، اصطلح عليه الجيولوجيون باسم طبقة العاصفة، أو باسم أكثر إثارة (وبصبغة شكسبيرية) طبقة التمبستيت (tempestite). ويمكن أن تبقى هذه الطبقة كذلك، وتدفنها طبقات مماثلة، وفي نهاية المطاف تصبح طبقة صخرية.

لكن غالبًا ما تستمر الرسوبيات بالانتقال، مرة بعد أخرى. وهي حتمًا كانت كذلك في حالة مواد الحصاة. وأبسط الطرق التي تجعلها تستمر في هذه الرحلة المتواصلة هي ألا تتوقف، أو قد تتوقف الرسوبيات وتستقر لبضع مئات أو آلاف من السنين، ثم تضطرب من جديد، بعاصفة أخرى، أو ربما بهزة أرضية. لكننا الآن، نحن ومواد الحصاة، ندخل عالمًا لا يمكن أن تصله الرياح ولا أمواج المدّ، وصاحبة الأمر فيه هي الجاذبية. وفي هذا العالم، أخيرًا، سيتشكل جزء من الحصاة يمكن لطفل أن يراه، بلا استعانة بمجهر إلكتروني أو مطياف للكتلة، وحتى دون عدسة مكبرة. فالآن ستظهر الشرائط الكبيرة لتلك الحصاة المخططة بطريقة جميلة. حيث توشك حبيبات الرسوبيات على لقاء ما سوف يكون مقصدها الأخير - لنحو 400 مليون سنة.

ولتقوم الجاذبية بعملها فإنها تحتاج إلى وسيلة تؤثر بوساطتها. وهذه هي وظيفة المنحدرات، الناتجة من الاختلاف في ارتفاع مستوى الأرض العالية عن الأرض المنخفضة، وفي حالتنا اختلاف مستوى المياه الضحلة عن المياه العميقة. فشمالي ذلك الشاطئ القديم، ينحدر قاع البحر إلى أعماق تصل إلى مئات الأمتار. فبين قاع المياه الساحلية ذات الانحدار اللطيف وقاع المياه العميقة هناك منحدر حاد بما يكفي (بضع درجات من الانحدار قد تكفي - فلا حاجة لأكثر من ذلك) ليزعزع استقرار أي رسوبيات تتراكم عليه.

وتهتز الأرض من حول منحدر من هذا القبيل - نتيجة زلزال مثلًا، أو عاصفة عاتية جدًّا. فتتمكن طبقات الطين الطري والرمل من الانزلاق عنه، فتتدحرج إلى أسفله. والجرف الحاد خلف هذا الانزلاق الأرضي أصبح في أساسه أقل استقرارًا، وبالتالي فإن شرائح أخرى من الرسوبيات يمكن أن تنزلق لتكشف جرفًا جديدًا. ونتيجة لذلك يبدأ هذا الجرف بدوره بالانهيار، فيكشف عن جرف خلفي جديد - وهكذا دَوالَيك. وفي حدث متواضع من هذا النوع، ملايين كثيرة من الأمتار المكعبة من الرسوبيات يمكن أن ترتحل قبل أن يستقر المنحدر (ولإعطاء مقارنة مألوفة، فإن المتر المكعب هو حوالي 25 حمولة من حمولات العربة اليدوية التي يستخدمها عمال البناء). وفي الأحداث الكبيرة، يمكن أن تزول مليارات من الأمتار المكعبة، ويكون ذلك كارثة تحت بحرية، إلا أنها أمر شائع في عالم المحيطات.

وأحيانًا لا تبتعد كتلة الرسوبيات المرحَّلة عن مكانها. فإذا كان المنحدر قصيرًا وطفيفًا نسبيًّا، فيمكن للرسوبيات ببساطة أن تتكوم على مسافة قصيرة أسفل المنحدر، فالكتلة المتفرقة جزئيًّا من الطين والرمل تحتوي ألواحًا مزعزعة من الطبقة الأرضية؛ وهذا النوع من الأمور يحدث غالبًا في الانزلاقات الأرضية على اليابسة. لكن تحت الماء، هناك رحلات أبعد بكثير تجري، تصل إلى مئات أو حتى آلاف الكيلومترات. إنها الرحلة التالية لهذه المواد وهي حقًّا رحلة عجيبة.

فهي تنطوي على صنع نوع جديد من السوائل: ليس طينًا بأكمله، ولا ماءً بأكمله، بل هو شيء بين ذلك. فمع تكسر الطبقات الطرية للطبقة الأرضية، فإنها تختلط بماء البحر لتشكل سائلًا كثيفًا مثقلًا

بالرسوبيات، وهذا السائل الذي تمده الجاذبية بالقوة يمكن أن يبدأ بالانسياب إلى أسفل المنحدر فيما أصبح الآن تيار عكارة.

وتيارات العكارة هي أمور فاتنة ومدهشة عند مراقبتها، حتى لو أنتجت بحجم صغير في خزان مملوء ماءً في مختبر علمي. فالسائل المحمل بالرسوبيات يتحرك عبر قاع الخزان، ويغير شكله بصورة مستمرة وهو ينحرف نتيجة العباب المضطرب والدوامات الدوارة المنتشرة في كل مكان في التيار. وعندما يكون في هذه الحالة، يمكنه أن ينتقل على منحدرات منخفضة جدًّا ولمسافات طويلة. فإذا واجهته عقبة، فيمكنه أن يدور حولها - أو حتى يرتد عنها ويتحرك في الاتجاه المقابل إذا كانت العقبة كبيرة بالقدر الكافي. والنفحات المضطربة المتجددة باستمرار تبقي الرسوبيات مرتفعة فوق قاع الخزان - أو فوق قاع البحر - مع تحرك التيار: ولذلك، فهي الأساس للمقدرة الاستيعابية الكبيرة لهذه التيارات في نقل الرسوبيات. (وعلى الأرض اليوم، أصبح النقل لمسافات تتجاوز الألف كيلومتر أمرًا عاديًّا). والطين كذلك يتصرف بحيث يجعل الماء أكثر «ثخانة» - حيث يزيد في كثافته ولزوجته، وهذا يساعد في إبقاء حبيبات الرمل كذلك عالقة داخل التيار المتحرك. وبالجملة، فهذه الآلات فعالة جدًّا.

لكن حتى أكثر الآلات فعالية ينتهي بها الأمر إلى التباطؤ. فعندما يتجاوز التيار المضطرب المنحدر ليتحرك على قاع المحيط المنبسط، فإن قوة دفع الجاذبية التي تقود جريانه، وتعطي القوة لمليارات النفحات المضطربة داخله، تؤول إلى الضعف ثم إلى الموت. وفي حدث مسجل في حصاتنا، كان التيار يبطئ ويصبح أقل اضطرابًا، على بعد 100 كيلومتر أو نحو ذلك من نقطة

البداية (وهي مسافة قصيرة بمعايير كوكب الأرض)؛ ربما بعد بضع ساعات من بدء الحدث في أعلى المنحدر. بعد ذلك يلقي بحمولته من الرسوبيات في قاع المحيط الواسع - الجسيمات الأثقل أولًا، وتليها الأخف فالأخف. وربما يستغرق الأمر بضع ساعات حتى يستقر معظم الطين في هذه الطبقة على قاع البحر، مع أن المواد الناعمة جدًّا ربما تحتاج أيامًا لتستقر بعد ذلك الحدث، ففي هذه الأعماق لا تأثير محسوسًا لا لأمواج البحر ولا لأمواج المد. وما زال قاع البحر - كما نراه - قاعًا غريبًا في عيوننا الحديثة.

وعلى الرغم من ذلك، ففي قاع البحر ستستقر طبقة من رواسب العكر (وهذه العملية لم تتغير كثيرًا منذ أن نشأت المحيطات في الأرض). إنها الشريط الرمادي في الحصاة: بسماكة بضع سنتيمترات، وهو مع ذلك جزء من شيء أكبر. فهذا الشريط يحتوي فقط مقدار ملعقة شاي أو ملعقتين اثنتين مما كان يومًا طينًا إنه جزء من حدث استهلك ملايين كثيرة من أطنان الرسوبيات ونشرها على مئات - وربما ألوف - من الكيلومترات المربعة من قاع البحر العميق في ويلز القديمة.

وتلك طبقة واحدة، إلا أن لها جارات. فعلى ذلك الشاطئ من ويلز، والحصاة في يدك، يمكنك أن تستدير لتنظر إلى الجروف والأنوف الصخرية التي وراءك. ستجدها مخططةً بصورة واضحة (اللوحة 1أ). وكل شريط هو طبقة أرضية، طبقة مستقلة من رواسب العكر، وغالبًا أكثر سماكة من الطبقة الرمادية في الحصاة، وأحيانًا تصل سماكتها إلى نصف متر أو أكثر (لقد رأيت واحدة منها مؤخرًا في اسكتلندا، في صخور بهذا العمر تقريبًا، وكانت

سماكتها نحو 40 مترًا). وهي ما يشكل معظم الهضاب في هذا الجزء من ويلز، وكثيرًا من السلاسل الجبلية في الأرض.

وللمرء أن يصعد الجروف، وينظر عن كثب إلى الشرائط. فهي تحكي قصة لا يمكن أن نراها في الحصاة، أو الواقع أنها لا يمكن أن تستخلص من أي لوح صخري اقتلع من مكانه الأصلي في الجرف. ابحث عن الوحدات الانسيابية السميكة من رواسب العكر؛ تلك الوحدات التي حملت الكثير من الرمال (وهي الآن أحجار رملية) بالإضافة إلى الطين، ثم ابحث عن سطح طبقة تمثل أسفل الوحدة -عمليًّا، ستكون انطباع منطقة صغيرة من قاع المحيط (ولتقوم بذلك، عليك في الغالب أن تجثو على ركبتيك وتزحف عليهما- بحذر -تحت لوح حجر رملي ناتئ). وعلى هذه السطوح ستجد هناك علامات غريبة- إذا كنت محظوظًا. إنها تشبه المنحدرات الشديدة (الحيود) القصيرة ذات القمم المدورة وأحد طرفيها يتناقص تدريجيًّا حتى يندمج باللوح المحيط والطرف الآخر يحاذيها بحدة مفاجئة. ولهذه الحيود مقابلاتها -من الأغوار المتطاولة - في سطح الصخر الطيني، مباشرة تحت طبقة الحجر الرملي، فالصخر الطيني الطري نفسه تآكل نتيجة أمواج البحر والعوامل الجوية.

تدعى هذه الأغوار قوالب بوقية، وهي تميّز تقوُّر قاع البحر الطيني بدوامات دوارة داخل التيارات الجارية؛ التي أحدثت الطبقة السميكة من الرمل والطين (اللوحة 1ب). والنهايات المستدقة لها تشير إلى التيار الهابط، لأن دوامة التقوير الدوارة للماء المحمل بالرمال تحفر دائمًا بصورة حادة أولًا، قبل خفوت التيار الهابط. وهكذا تشير النهايات الحادة إلى مصدر التيار.

والطابع البوقي على هذا الساحل يتجه بصورة منتظمة من الجنوب - وبذلك نعلم أن تيارات العكارة قد أتت من ذلك الاتجاه. وتلك إحدى الدلالات التي يستخدمها الجيولوجيون في إعادة بناء جغرافية الأرض بالحال التي كانت عليها في الماضي (وهي دلالة تقليدية موجودة في كتاب أي طالب يدرس الجيولوجيا).

## مصدر الكربون

هناك طبقات أخرى في الحصاة لها تاريخ مختلف تمامًا. فالشرائط الرمادية السميكة اللطيفة تمتزج بطبقات داكنة، غالبًا ما تكون بسماكة بضعة مليمترات، وهي تظهر (بخاصة عند ترطيبها) مخططةً بصورة ناعمة جدًّا. لكن انظر بإمعان أكبر (بعدسة مكبرة) وسترى أن الشرائط (ويدعوها الجيولوجيون رقائق) ذات سماكة أقل من المليمتر. والرقائق التي تكون باللون نفسه وظل اللون نفسه تقريبًا مع تناوب طبقة رواسب العكر بألوان أكثر إعتامًا - الواقع أنها تكون سوداء تقريبًا.

والقاعدة المتعارف عليها التي تنطبق جيدًا على الصخور الطينية بصورة عامة - وعلى الحصاة بصورة خاصة - أنه كلما زادت عتمة اللون الرمادي، زاد ما تحتويه من الكربون. لذلك فالشرائط الداكنة الناعمة أكثر غنًى بالكربون من سائر الصخرة. وهكذا فإن الكثير منها يروي قصة، والكثير منها يخفي سرًّا. لكن لعلنا نبدأ بكيفية مجيء الكربون إلى حصاتنا. ونحن نتعامل هنا مع رحلة

أخرى، أو بالأحرى رحلات وافرة، لأن الكثير من الكربون ليست له صلة كبيرة بأفالونيا، ولعله سافر مسافة نصف العالم.

لنبدأ بالأهمّ! الطبقات الرمادية السميكة التي تشكل معظم حصاتنا هي طبقات من رواسب العكر تمثّل جيولوجيًّا «أحداثًا» لحظية. وفي كل مرة تتشكل فيها طبقة، ربما مرةً كل بضعة عقود، يستقبل قاع البحر العميق بساطًا سميكًا جديدًا من الطين والرمل. وبين هذه الأحداث الكارثية، تتوقف الرسوبيات تقريبًا عن الوصول إلى قاع البحر. تقريبًا لكن ليس تمامًا. فقاع البحر ذاك، بين فينة وأخرى - وربما بصورة موسمية - يستقبل أعفارًا ناعمة من الطين والطمي؛ ولا تكون الطبقات غالبًا إلا سماكة من الحبيبات. وتأتي هذه من الانجرافات البطيئة للماء الطيني الذي سافر عبر البحر، واستغرق في رحلته أسابيع أو شهورًا، لا ساعات، وتستقر الرسوبيات ببطء منها وتسقط إلى الأعماق. تنتقل ببطء وتمتزج في أقارب لتيارات العكارة؛ وهذه تدعى تصعدات الكدارة. وغالبًا ما يكون بمقدورك رؤيتها إذا نظرت بانتباه إلى البحر بعد هطول غزير للمطر، فتراها على شكل أرتال من الماء الطيني تتمدّد في البحر من ثغور الأنهار، وفي المحيطات الحديثة يمكن تتبّع التقدّم البطيء والتبدّد نهائي باستخدام السواتل (الأقمار الاصطناعية).

وهناك انجراف هابط آخر في المواد يتمازج بالطبقات الكدرة. لكن ذلك ليس مسارًا لحبيبات معدنية، بل هو مسيرة موت متواصلة - لبقايا نباتات وحيوانات عاشت عند سطح الماء مثل العوالق، في الطبقات السطحية المشمسة من البحر. وعندما تسقط إلى قاع البحر، تصبح طبقات سوداء رقيقة يمكن للمرء أن يراها في الحصاة (بالاستعانة بعدسة مكبرة).

ومواد أجسامها لم تأت، في معظمها، من كتل اليابسة المجاورة، في أفالونيا. ويُفترَض أن الكربون قد انبجس على شكل ثاني أكسيد الكربون من البراكين من أي مكان في العالم؛ ثم سافر بعد ذلك في الغلاف الجوي لبعض السنين؛ ثم تحلل في البحر (كما ينتهي الأمر بثاني أكسيد الكربون الذي في الغلاف الجوي)، وبهذا الشكل حملته تيارات المحيط إلى البحار المحيطة بأفالونيا؛ وبوساطة عملية التركيب الضوئي التقطته عوالق طحلبية مجهرية، عاشت وماتت في هذه البحار وأُكِلت - كثيرات منها - من قبل عوالق حيوانية، عاشت وماتت كذلك.

وكان الأمر أقرب إلى شبكة تلف العالم، من النوع الذي يرسم مسارب جغرافية سلكتها الحبيبات المعدنية. وعلى كل حال، وفي نهاية الرحلة، انتهى الأمر بصاحبي الرحلة الطويلة من الكربون والسليكات المحدودة إلى التمدد جنبًا إلى جنب، أسفل البحر السيلوري العميق لويلز. لقد كان ذلك البحر بحرًا غير مألوف، فالعالم كان حينذاك مختلفًا عما هو عليه اليوم. ويمكن للحصاة الآن أن تروي لنا قصة طبيعة قاع هذا البحر، وما الذي يعنيه ذلك في العصر السيلوري للأرض. فقد كان كوكب الأرض حينذاك كوكبًا غريبًا.


5

# البحر

المنطقة الميتة

من المغيظ جدًّا في الجيولوجيا أن بعض الأشياء يصعب تأكيدها. فعلى سبيل المثال، ما هو عمق بحر حصاتنا، ذلك البحر السيلوري لحوض ويلز في البقعة التي أصبحت بعد 400 مليون سنة الشاطئ الجاثم عند أقدامنا؟ حسنًا، يمكن للمرء أن يخمن شيئًا ما من عمق أصغري. فقد كان أعمق من العمق الذي يكون فيه أثر لأمواج البحر وأمواج المد على قاع البحر، لأنه لا آثار لهاتين الظاهرتين وجدت في مواد الحصاة ولا - في بينةٍ أكثر إقناعًا - في أي من الطبقات الأرضية لجروف ويلز التي يمكن أن تكون الحصاة قد جاءت منها. وبحسب المتعارف عليه، فإن ذلك يعني أن البحر كان أعمق من بضع مئات من الأمتار، فذلك هو العمق الذي تصل إليه أعتى الأمواج لأعتى العواصف في بحر واسع مفتوح لتثير قاع البحر.

والآن، إذا ترسبت الطبقة الأرضية فوق ذلك المستوى، ففي وسع المرء أن يفكر في بعض التخمينات المقبولة للعمق القديم للمياه. وهكذا، فإذا وجد المرء طبقة أرضية شاطئية أحفورية، فإن تلك علامة على أن هذه الصخور كانت قد تشكلت فعليًّا عند مستوى البحر. وتحت ذلك، يمكننا أن نميز بين قيعان البحر الضحلة التي تثار بصورة كبيرة في كل حين، حتى بالأمواج الخفيفة في يوم

معتدل الحالة الجوية (وفي هذا النوع من قيعان البحار، يذرو الموج الطين بعيدًا، ولا يمكن أن يستقر إلا الرمل والحصى)؛ وبين قيعان البحر الأعمق من ذلك التي تتأثر فقط بالعواصف العاتية (حيث يمكن للطبقات الطينية السميكة أن تستقر بين العواصف الكبيرة التي قد يفصل بينها عقد - أو قرن - من الزمن). لكن ما الذي تحت ذلك أيضًا؟ من الصعب من الناحية العملية أن نعرف من الطبقات الصخرية إنْ كان قاع البحر القديم الذي كانت مستلقية فيه بعمق 300 متر أم كان بعمق 3000 متر، أو ربما أعمق من ذلك. فالأمر إذن مرتبط بصخور الحصاة. إن قاع البحر هذا في ويلز كان عميقًا بصورة عامة، إلا أن عمقه المضبوط ما زال غامضًا - واستنتاج عمقٍ غير مضبوط مقبول سيبقى لغزًا حتى للأجيال القادمة من الجيولوجيين.

لكن هناك أمرًا يمكن أن يقال في ذلك حتمًا، والبينة عليه يمكن أن تؤخذ حتى من عينة صغيرة جدًّا منه تتجلى في الحصاة. ذلك الأمر هو أنه قاع بحر ميت، أي أنه خالٍ من أي كائن متعدد الخلايا. فهذه الرقائق المرهفة بسماكة المليمتر التي تتراكم ببطء على قاع البحر بين تدفقات الطين والرمل من رواسب العكر ليست طبقات رسوبية رقيقة وحسب: بل إن كل رقاقة هي كذلك لوحة يمكن أن يرتسم عليها أثر أي حيوان يمشي فوقها، أو يزحف عليها، أو يحفر فيها ليختبئ في قاع البحر.

ولا آثار من ذلك القبيل تعترض الطبقات المرهفة في الحصاة (اللوحة 2أ). ففي الجروف والأنوف الجبلية التي انشقت منها الحصاة، هناك سماكات لهذه الطبقات الأرضية من المياه العميقة، وليس فيها آثار أو خطوط يمكن العثور عليها. وذلك لا يعود إلى

أن الحياة المعقدة لم تكن موجودة - فهناك كثرة كاثرة من الكائنات الأحفورية - من عضديات الأرجل، وثلاثيات الفصوص، والرخويات - يمكن أن توجد في الطبقات الأرضية التي تشكلت في البحار الأكثر ضحالة في تلك الأزمنة. لكن هناك شيئًا ما أبقى هذه الحيوانات بعيدة عن هذا البحر. وهذه البصمة للطبقة الأرضية بصمة مذهلة، في استبعاد الحياة في أعماق البحار. وقد لاحظها أحد أعظم الجيولوجيين (John Marr) منذ نحو قرن جون مار الروّاد. فقد قال إن البحر «تسمّم تحت عمق يزيد على 100 قامة». وهكذا كان إلى حدٍ ما.

وهناك عوامل كثيرة يمكن أن تؤثر في استبعاد الكائنات الحية. فلعل الماء كان مالحًا جدًّا، مثل البحار المحاطة باليابسة حيث يحول التبخر ماء البحر إلى محلول ملحي مركز - على الرغم من أنه في تلك الحال فإن المرء يجد طبقات من الملح الصخري، أو بدقة أكبر، يجد انطباعات مرهفة تركتها بلورات الملح الصخري التي ذابت فيما بعد وتلاشت. أو أن الماء كان ساخنًا جدًّا ومحملًا بمواد كيميائية بقرب عنق بركان - على الرغم هنا من أن المرء يتوقع أن يرى صخورًا بركانية إلى جانب الطبقات الرسوبية. أو لعل الماء يكون مسمّمًا بالمعنى الحرفي للكلمة، من جراء تكاثر العوالق السامة. لكن هنا، وبين محتويات الحصاة وقريباتها في الطبقة الصخرية، لا توجد بلورات ملحية، ولا صخور بركانية. و«الماء المسمَّم» يواصل الظهور بين الحين والحين منذ ملايين السنين، لا في بحر ويلز القديم وحسب، بل في الوقت نفسه في البحار التي أصبحت اليوم أرض البحيرات الإنكليزية واسكتلندا، وفي مقاطعة نوفا سكوشا وفي شمال إفريقيا وبولندا أيضًا. وهناك

طريقة واحدة لإنهاء هذا المدى الواسع من المحيط العميق في وقت واحد في كثير من أجزاء العالم. وذلك بخنقه.

فقد كانت هذه أعماقًا في المحيط ظمأى إلى الأكسجين، ولم تكن تسمح لأي شكل من أشكال الحياة باستعمارها، إلا الميكروبات (الميكروبات من الذراري القديمة، وصولًا إلى أيام الأرض قبل النباتات وقبل التركيب الضوئي) التي تكيفت مع ظروف عوز الأكسجين. وهذا تمامًا بخلاف المحيطات الحديثة المألوفة، حيث يوجد الأكسجين - والحياة المعقدة متعددة الخلايا - فعليًّا في كل مكان. والعودة بالزمن إلى الوراء، تكون في هذه الحالة (كما في حالات أخرى كثيرة) أشبه بالسفر إلى كوكب مختلف.

وهناك قلة قليلة من الأماكن - في هذا العالم الحديث المفعم بالأكسجين - التي تمثل أعماق المحيط الشاسعة السيلورية التي كانت تعاني عوز الأكسجين. والبحر الأسود أفضل مثال معروف لها. فهو بحر عميق - بعمق يتجاوز الكيلومترين - وهو تقريبًا محاط باليابسة. والمياه السطحية تزخر بالحياة (مع أن التلوث مؤخرًا يسبب خسائر جمة فيها). وتحت حوالي 300 متر وحتى القاع، نجد الماء مجردًا من الأكسجين، إلى حد أنه يحتوي كبريتيد الهيدروجين المنحل، وهو غاز معروف برائحة كرائحة البيض الفاسد، ويشتهر على نحو أقل بسميته (والواقع أنه سام مثل سيانيد الهيدروجين). وهذا أمر سيئ جدًّا لحياة متعددة الخلايا، لكنه أمر بديع بالنسبة لعلماء الآثار البحرية، لأن حطام السفن اليونانية والرومانية، محفوظ بصورة مدهشة، مستلقيًا في قاع هذا البحر.

إن البحار المفتوحة اليوم تحتوي مثالًا أو اثنين طبيعيين صغيرين جدًّا لهذا العوز المستمر للأكسجين. فهناك على سبيل المثال، حوض سانتا باربرا عند ساحل كاليفورنيا. إنه منخفض في قاع البحر، بعرض بضعة عشرات الكيلومترات، يحيط به سور يمنع تيارات المحيط من تجديده. وفي هذه المياه الراكدة، تتكوم طبقات من الرسوبيات تظهر تشابهًا كبيرًا مع طبقات الحصاة. وعلاوة على ذلك، وبما أن هذه الطبقات لا تزال تتشكل الآن، فبوسع المرء أن يدرسها وهي تتشكل، فيسافر في أعماق المحيط في غواصات الأعماق ليمعن النظر فيها، ويأخذ عينات من غضاريات قاع البحر هذه، ويترك جرارًا مفتوحة في قاع البحر لتلتقط له نماذج من المواد الساقطة إلى قاع البحر. إنه ملعب صغير، أو هو جنة، بالنسبة لمن يحاول السفر بعقله إلى الماضي.

وفي حوض سانتا باربرا هناك طبقات سميكة من الطين تشبه الشرائط الرمادية السميكة لحصاتنا. وهي بصورة أساسية رواسب العكر، تشكلت على شكل تدفقات كبيرة من الرسوبيات، تسيِّرها الجاذبية، أثارتها عواصف «المئة سنة» الكبيرة على طول ساحل كاليفورنيا. كما أن غضار سانتا باربرا فيه كذلك فواصل داكنة من طين رقيق مترقّق، بين طبقات الطين السميكة. وهذه الرقائق الحديثة في كاليفورنيا، مثل صخور حصاتنا في ويلز القديمة، تتناوب طبقاتها بين الداكنة جدًّا والملأى بالمادة العضوية، وبين الطبقات الشاحبة التي تشبه مواد الطبقات الطينية السميكة. وفي سانتا باربرا، بين الحين والآخر، يمكن للمرء أن يرى أن الرقائق الشاحبة تمثل أعفارًا رقيقة من الرسوبيات انجرف من فيضانات الأنهار في كل شتاء، أما الطبقات الداكنة فهي بقايا العوالق الدقيقة الميتة، سقطت على قاع البحر. وهذه الرقائق الحديثة في

كاليفورنيا يمكن أن نرى أنها سنوية: فيمكن للمرء أن يعدها بصورة عكسية، بدءًا من سطح قاع البحر إلى الأعلى، كما نفعل بحلقات الأشجار تمامًا، وبناءً على ذلك نربط بين رقاقة معينة من الرقائق وأحداث تاريخية معينة - على سبيل المثال: حادثة فيضان عنيف أنتجت رقاقة أكثر سمكًا من جاراتها.

إلا أننا لا نحظى بهذا الحظ الطيب في رقائق الحصاة. فمع أن حوض سانتا باربرا يعطي صورة جيدة - هي أفضل ما لدينا اليوم - للنمط العام من الأوساط التي تشكلت فيها طبقات الحصاة، والعمليات التي شكلتها. إلا أنها ليست صورة دقيقة، فهي انطباعية جدًّا أكثر من كونها نسخة طبق الأصل. فهناك شيء غامض في تفاصيل رقائق الحصاة لا يزال مصدرًا آخر للغيظ بالنسبة لدارس ناشئ لهذه المعارف التقليدية الويلزية القديمة جدًّا. فعلى الرغم من أن رقائق سانتا باربرا سنوية بطبيعتها، بصورة أساسية، ويمكن عدها، ورسمها، وتحليلها وفقًا لذلك، فإن الأمر نفسه لا يبدو صحيحًا للأسف في رقائق حصاتنا.

وهنا على المرء أن ينظر إلى الحصاة من قرب شديد، إما بعد قطع الحصاة نصفين وصقل أحد السطحين، أو بعد صنع شريحة رقيقة من الصخرة لتحليلها بالمجهر. وعند هذا المستوى، من الواضح جدًّا لرقائق حصاة ويلز أنها عندما تحمل على يدك تنحل في بحر من الشكوك. فمعظمها، إذا تمعنت فيها عن كثب، ليست رقائق متصلة على الإطلاق؛ بل هي خصل وعدسات ورقع غير متصلة، تنقسم غالبًا إلى جزأين، أو تتدرج بصورة باهتة في رقائق أخرى بدلًا من أن تتميز عنها بوضوح. إنها باختصار، مستحيلة العد والتحليل بأي مستوًى معقول من الدقة. يا للإحباط

منها! فما زلت أذكر الشعور الذي شعرت أنه كان في غاية القسوة عندما تخليت أخيرًا عن محاولة القيام بهذا التمرين في عد الرقائق على حصاة قريبة من هذه الحصاة؛ قبل بعض السنوات. وكان سيكون أمرًا بديعًا، أو لطيفًا جدًّا (وكنت حينذاك في شبابي) أن يكون لدينا، على مدى 400 مليون سنة، مفكرة سنوية مضبوطة للأحداث في العصر السيلوري. لكن ذلك لم يحصل آنذاك - ولم يحصل بعد.

إذًا فلماذا لا تكون الحصاة كسرة صغيرة جدًّا من مفكرة مضبوطة للطبقات الأرضية، على طراز ما في سانتا باربرا؟ وهذا أيضًا لغز آخر، ولد من الاختلافات العميقة بين البحار الغريبة في العصر السيلوري والمحيطات المألوفة لنا اليوم. فبحار ويلز، تلك التي كانت ظمأى إلى الأكسجين لآماد طويلة، كان تركيبها الكيميائي مختلفًا، وأنظمة التيارات البحرية فيها كانت مختلفة، والبيولوجيا في ذلك الزمان كانت مختلفة. إن عمل هذا العالَم ما زال غامضًا جدًّا بالنسبة إلينا؛ فما زال أمامنا عمل جاهد في تحرِّيه، لنتمكن من التنوير الملائم للصورة الكبيرة لهذا القطاع من تاريخ الأرض السحيق.

إلا أن هناك أيضًا تفاصيل ثانوية تحتاج إلى شرح - وفي هذه الحالة هي تفاصيل بشأن الضمور والغموض العميقين لهذه الرقائق من الحصاة التي ليست رقائق تمامًا (عند تفحّصها عن كثب). وهناك علامة نراها في المحيطات المفتوحة اليوم. فعندما تسقط العوالق الميتة إلى قاع البحر، فهي تميل إلى ألا تكون مماثلة لبقايا الكائنات الأخرى - فجملة العوالق مكونة من كائنات وحيدة الخلية بالغة الصغر والخفة يمكن أخذها إلى عصر جيولوجي

(حرفيًّا تقريبًا) لتغوص منفردة عبر بضعة كيلومترات من المحيط إلى الأرض في قاع البحر. لكنها بدلًا من ذلك تغوص في تكتلات وتجمعات، متشابكة في كتل هلامية، وبعد أن تأكلها وتطرحها الكائنات الكبيرة تكون مثل كريات برازية. فالثلج البحري، وهو الاسم الذي تدعى به هذه التكتلات الساقطة، و«الهطول الثلجي الأبدي» للمحيطات - كما تصوره بحيوية راشيل كارسون (Rachel Carson) - ينطوي على نوع من الطرق السريعة من سطح البحر إلى قاعه. وفي المناطق مرتفعة الإنتاجية من محيطات اليوم، يمكن للمرء أن ينظر بانتباه من نوافذ غواصات الأعماق ويرى بدقة هذا الهطول الثلجي يتكوم في الأسفل. وهكذا، فبعض الخصل التي يمكن للمرء أن يراها في الحصاة ربما تكون، بكل بساطة، بقايا ندف منفردة من ثلوج البحر السيلورية.

وذلك أمر محتمل. وهو أمر معقول حتى. لكن، وكما هو الحال في العلوم دائمًا، فهناك احتمالات أخرى. فلا بد من الأخذ بالحسبان الطبيعة المضبوطة لقاع البحر الغريب ذاك. حيث، وهو الأمر الأكثر رجحانًا من عدمه، إن قاع البحر لم يكن مجرد رحبة فسيحة منبسطة من الطين والطمي وندف الثلج البحري المتساقطة. فلا بد أن فيه حياةً كذلك، تكيفت مع هذه العتمة الأبدية والأحياز الخالية من الأكسجين: إنها الميكروبات القديمة لعالم عوز الأكسجين. ومن الشائع النظر إلى الميكروبات اليوم على أنها أبسط أشكال الحياة وأكثرها بدائية؛ تعيش في التربة وأكوام السماد الطبيعي وما أشبه ذلك؛ وعندما تأتيها الفرصة لتعيش داخلنا أيضًا وتنجح في ذلك، ندعوها جراثيم.

وذلك ينم عن تعقيد يزداد إدراكنا له، ومهارة تامة في مؤازرة هذه الكائنات بعضها بعضًا. فالكثير من الميكروبات تعيش في مستعمرات، ومستعمراتها مدهشة (يمكن للمرء أن يرى ملامح الدهشة ترتسم على وجوه اختصاصيي الميكروبيولوجيا وهم يكتبون كتاباتهم عنها). ومستعمراتها موجودة في كل مكان، من غشاء أسنان الإنسان، إلى غثاء البرك على سبيل المثال. وكل مستعمرة يمكن أن تضم عشرات أو مئات الأنواع البكتيرية؛ مستخدمة إشارة كيميائية فردية للبكتيريا تبثها إلى بعضها بعضًا (وهو ما يدعى استشعار النِّصَاب) لتعرف أي من رفاقها من الميكروبات يسمح له بالدخول وأي منها ينبغي أن يبقى خارجًا؛ تتعايش وتتعاون وتتطور معًا في مجموعة مرهفة من الجماعات والتحالفات - وتنغمس كذلك في حرب بين ميكروبات المستعمرة عند الضرورة. إنها مكافآت مجهرية للغابات المطرية، أو الشعاب المرجانية. وفي الأزمان الحديثة، فإن قاع البحر مكان قاسٍ بالنسبة إليها. وإذا ترك الأمر للميكروبات، لتمكنت من التغطية الكاملة لكل سطح تحت سطح البحر بمستعمرات كأنها الفُرُش. ولسوء حظها، فإنها كذلك فرائس. فأعداؤها العمالقة ومفترسوها، الديدان ورخويات الرعي، تمزق باستمرار الفرُش المعقدة المرهفة إلى مزق وهي تحفر وتمضغ في طريقها عبر الرسوبيات السطحية.

إلا أن قيعان البحار معوِزة الأكسجين المنتشرة في العصر السيلوري لم تكن مكانًا ترعى فيه الديدان، ولذلك فهي يمكن أن تعود ملاذًا آمنًا للميكروبات (كما كانت في الواقع منذ فجر الحياة قبل أكثر من 3 مليارات سنة حتى نشوء المتزويَّات (metazoans) بعد 2500 مليون سنة من ذلك). كان ذلك

سيكون عالمًا مجهريًّا من الغنى والتنوع المذهلين، ومن المعارك والمعاهدات والتحالفات، ومن الغدر أيضًا. وكل ذلك يتم عن طريق استشعار النِّصَاب (وربما بوسائل أخرى، ليس لدينا نحن الكبار الثقال ذوي القدمين الفطنةُ بعد لكشفها)، بالقدر نفسه الذي ندير به أعمالنا الحديثة عن طريق البريد الإلكتروني والهاتف الجوال. وبذلك كافحت جماعات مختلفة من الميكروبات للسطو على بقع وساحات معارك امتدت في كل أرجاء الأرض.

وكل ما تركه هذا الغنى هو الارتياب في أن بعض هذه الخصل المكربنة - وربما الكثير منها - في الرقائق الغنية بالمواد العضوية في الحصاة كانت، ذات يوم، بقايا المستعمرات الميكروبية، بصورة كلية أو جزئية. إلا أن هناك أيضًا مثالًا آخر لاستمرار قلة فهمنا للماضي - خاصة الأشياء المهمة، لأن الميكروبات آنذاك، كما هي الآن، كانت تحكم العالم - فكم هنالك من أمور ما زال علينا دراستها.

## الجليد البعيد

إن الصخور الطينية المترققة الغنية بالمواد العضوية هي إحدى المكونات الرئيسة والمميزة جدًّا في الطبقات الأرضية السيلورية، وهي ممثلة بوضوح في حصاتنا. إلا أن لها نقيضًا مباشرًا، وهو الوجه الآخر للطبقات الأرضية الذي يمكن أن يرى في الكثير من مقاطع الطبقات الأرضية في الجروف - أو يمكن أن نصادفه إذا اخترنا حصاة أخرى. وهذا النوع الآخر للصخور لا يمتلك

الأشرطة الداكنة الناعمة بين الطبقات السميكة الملساء للصخر الطيني من رواسب العكر. بل في هذا الموضع لها طبقات كثيرة شاحبة اللون تبدو بصورة عامة صعبة الوصف إلى حدٍّ ما، وبخلاف ذلك، فهي متناثرة هنا وهناك، وفيها خطوط وبقع صغيرة داكنة، تسهل رؤيتها إذا بللت الصخرة (اللوحة 2ب).

وهذه الخطوط والبقع إذا نظرنا إليها عن قرب (وعندما يحول المرء سطح الصخرة ذا البعدين إلى نموذج ثلاثي الأبعاد) هي جحور أحفورية لنوع ما من الكائنات. ما هو ذلك النوع؟، نحن لا نعلم، لكن التفسير الافتراضي هو أنها كانت نوعًا من الديدان. وبغض النظر عن النوع الذي أحدثها، فقد كانت كائنات متنقلة متعددة الخلايا، وهذا يبين بوضوح أن قيعان البحار السيلورية لم تكن دائمًا في عوز الأكسجين، بل كانت تتبدل بين حالة عوز الأكسجين وحالة كفاية الإمداد بالأكسجين؛ لتمكين نشوء مستعمرات للحيوانات ذوات الجحور - مع ما تسببه من إخلال بالطبقات الرسوبية الناعمة.

والواقع أن كمية الجحور لا بد أن تكون كثيفة، لأنه لا آثار عادةً لرقائق دقيقة ناعمة بقيت حتى اليوم، أما اللون الشاحب جدًّا لهذه الطبقات فهو ناتج من أن معظم المادة العضوية فيها قد «استُهلِك»، بعد أن استُخدِمت مصدرَ طاقةٍ لكل الكائنات المتكيفة مع الأكسجين (بما فيها التجمعات المختلفة من الميكروبات - الهوائية اليوم) في قيعان البحار تلك.

وهكذا تمثّل حصاتنا، برقائقها الداكنة الناعمة، حالة من حالتين متناقضتين للمحيطات في العصر السيلوري، حيث كانت تتبادل

إحداهما بالأخرى بمرور العصور الجيولوجية. وكل حالة ربما استمرت ملايين السنين (على سبيل المثال، كانت خمسة ملايين السنين الأولى أو نحوها من العصر السيلوري في ويلز تعيش في عوز الأكسجين بصورة متواصلة). وفي عصور أخرى كانت حالتا وجود الأكسجين وعوز الأكسجين تتناوبان كل بضعة آلاف أو بضعة عشرات آلاف من السنين. وهو نمط مطبوع عميق جدًّا، وأساسي جدًّا، في هذه الطبقات الصخرية؛ بحيث إنه الوسيلة الأساسية في تقسم الطبقات الأرضية إلى أجزاء ثانوية في الخرائط الجيولوجية لويلز.

لكن ما السبب في هذه الظاهرة؟ وما أهميتها؟ فلماذا يتقلب المحيط بين الإشباع بالأكسجين فيكون مستعمرًا على نحو واسع بحيوانات متعددة الخلايا، وبين أن يكون منطقة قاتلة لهذه الكائنات، وجنَّةً فقط لميكروبات عوز الأكسجين؟ ومرة أخرى ندخل هنا عالم الغموض، عندما نتفكر مليًّا في آلية ما جرى، في عالمٍ بعيدٍ تلاشى. ومن الحكمة أن نستذكر أن فهمنا آلية عمل عالمنا الحديث هو فهم جزئي وحسب، حيث يمكننا مراقبة البر والبحر والجو بصورة متواصلة، وأخذ عينات منها، وتحليلها - ونشهد مثلًا الطريقة التي تتطور بها حاليًّا بعض أعراض الاحتباس الحراري (من ذوبان الجليد القطبي، ونحوه) بمعدل أسرع مما يتوقعه أحدث طرازات الحواسيب. ومع ذلك، هناك بعض الأنماط المثيرة في تلك الرسائل المتقطعة من العالم السيلوري، وبعض الاستنتاجات التي يمكن أن تكتب فيها المقالات - بحرص وعناية.

فعلى سبيل المثال، هناك بالفعل طريقتان يمكن أن يصبح بهما المحيط في عوز الأكسجين. إحداهما بإنتاج الكثير جدًّا من المواد

العضوية بحيث يُستنفَد كل الإمداد بالأكسجين بصورة مستمرة في محاولة لأكسدتها. وهذا ما يحدث بصورة أساسية مثلًا عندما ينسكب الكثير جدًّا من السماد الطبيعي الزراعي من حقول المزارعين إلى الأنهار والبحيرات: فهذا ينشط نمو الكثير جدًّا من الطحالب بحيث إنها، بموتها وتحللها، تستهلك الأكسجين، وتصبح الأنهار والبحيرات نتنة، فتقتل الأسماك في تلك العملية. وهذه مشكلة شائعة اليوم. والوسيلة الأخرى هي بإبقاء المستويات المغذية ثابتة، لكن ينقطع الإمداد بالأكسجين. وهذا ما يحصل فعليًّا في البحر الأسود - فالطبقات العليا المشبعة بالأكسجين أقل ملوحة وبالتالي فهي تشكل «غطاءً» منخفض الكثافة على هذا البحر، يمنع جريان الماء لإمداد المياه العميقة بالأكسجين. وطبعًا هاتان الطريقتان ليستا طريقتين قائمتين بنفسيهما وحسب: فيمكن للمرء أن يأخذ قدرًا من كل منهما، ويجمعهما ليظمأ البحر إلى الأكسجين. فأي من الطريقتين كانت الأكثر أهمية في البحار السيلورية لويلز؟ وما زال الوقت مبكرًا لهذا السؤال. (تذكر أن الجيولوجيا علم ناشئ - وهي تشمل تاريخًا طويلًا جدًّا، وما زال هناك الكثير جدًّا لاكتشافه). إلا أن هناك رابطة آسرة تشدنا.

فالأحداث الرئيسة لعوز الأكسجين في البحر تزامنت، إلى حدٍّ ما، مع أوقات كان فيها مستوى سطح البحر عاليًا، أما فترات الإشباع بالأكسجين فقد حدثت عندما كان مستوى سطح البحر منخفضًا. ويمكن إثبات ذلك بتتبع الطبقات الأرضية عبر البلاد ومطابقة زمن التغير في حالة الإشباع بالأكسجين لأعماق المياه في أحد الأماكن، فرضًا، بالتغير في موضع الساحل القديم في مكان آخر. إن هذا العلم علم مجهد، فهذه المطابقة لزمن أحداث مختلفة في أماكن مختلفة، تعتمد على العمل الحقلي البطيء والدقيق ووضع

التاريخ المضبوط للطبقات الأرضية عن طريق محتوياتها الأحفورية. وعلى الرغم من ذلك، فقد تراكمت أدلة كافية تقابل بين ارتفاع مستويات البحر والظمأ إلى الأكسجين في الأعماق. فكم هو مقدار ارتفاع وانخفاض مستويات البحر؟ وهذا سؤال شائك بوجود صخور قديمة جدًّا، إلا أن الإجابة ببضع عشرات من الأمتار ستكون تخمينًا مقبولًا.

وأفضل طريقة لرفع مستوى البحر وخفضه بسرعة وبصورة ملحوظة هي بتغيير كمية الجليد في الأقاليم القطبية. فمع نمو القلنسوات الجليدية وتقدُّم الأنهار الجليدية، يُسحَب الماء من المحيطات. بعد ذلك، حينما تزداد الأرض دفئًا، يذوب الجليد، فيسكب الماء من جديد في المحيطات. وهذا ما حدث في العصور الجليدية من العصر الرباعي الذي ما زلنا نعيش فيه (على الرغم من أننا بمجموعنا نغير في الضوابط المناخية للأرض بصورة هائلة بحيث إن هذه الحالة قد لا تستمر طويلًا). ويبدو أن عملية مماثلة قد حدثت في وقت مبكر في العصر السيلوري وفي وقت متأخر من العصر الأوردوفيشي الذي سبقه. والواقع أن نهاية العصر الأوردوفيشي لطالما عرفت بأنها تتميز بانتشار وجيز وكثيف للجليد الذي دمر الحياة البحرية، وذلك نتيجة نمو الجليد ثم تفككه في أمريكا الجنوبية وجنوبي إفريقيا اللتين اجتمعتا معًا، واتجهتا باتجاه القطب الجنوبي.

لكن هذا قد لا يكون كل شيء. فهناك أدلة متزايدة على أن الجليد تعاظم وتضاءل بقدر أقل إثارة من ذلك لبعض عشرات ملايين السنين قبل وبعد ذلك الحدث المناخي. ويبدو أن هذا هو الراجح (أو المقنع لنا، فربما يجدر بنا أن نضع ذلك ضمن حالتنا المعرفية

الحالية) في الذي غيَّر مستوى البحر إلى الأعلى والأسفل في كل العالم. ومن ثم يبدو أن التغيرات في مستوى البحر أدت كذلك إلى اختناق أجزاء كبيرة من أعماق البحار في الأرض (وكذلك شرائط الرقائق الناعمة لحصاتنا - وهي أدنى النواتج لما حدث) - وما تلا ذلك من إعادة إشباعها بالأكسجين.

فهل هذا يساعدنا في الاختيار بين نموذجينا للظمأ إلى الأكسجين - نموذج التسميد المفرط للمحيطات أو قطع إمدادات الأكسجين؟ ربما. إن أحد الأسباب التي تجعلنا اليوم نحظى بقاع بحري مشبع بالأكسجين بصورة صحيَّة (لكنها ليست صحية جدًّا، بسبب وجود فُرُش الميكروبات) هو أن هناك منظومة تيارات بحرية نشطة، تقودها الأقاليم القطبية في العالم، توزع ذلك الأكسجين. ففي هذه الأقاليم، ومع تشكل جليد البحر في كل شتاء، فإن سطح الماء الذي يبقى باردًا ومالحًا (لأن جليد البحر يستبعد الملح)، يكون أكثر كثافة من الماء أسفله، ولذلك هو يغوص إلى القاع فيكون القوة المحركة والبادئة لمنظومات التيارات البحرية العالمية.

وفي عالم أكثر دفئًا، تكون فيه مستويات البحار أعلى وقلنسوات الجليد أصغر، يضعف هذا المحرك القطبي للتيارات البحرية، وبذلك تصبح التيارات أبطأ، الأمر الذي يقلل معدل إمداد الأكسجين إلى أعماق المحيط. وبالمقابل، فعندما تنمو القلنسوات الجليدية، يقوى المحرك القطبي، وبذلك يتدفق الأكسجين من جديد إلى المياه العميقة. وهذا الأمر على الأقل مقنع إلى حدٍّ ما - في الوقت الحاضر. وهو لا يستبعد نماذج الإشباع بالأكسجين المرتكزة على الإمداد بالمغذيات، لأسباب ليس أقلها أننا لا نعلم إلا القليل جدًّا عن الأمور التي تتحكم بمستويات المغذيات البحرية في

العصر السيلوري. لكن ذلك نوع ما من البدء في العملية الطويلة (التي أخشى ألَّا تنتهي) من إعادة بناء آلية العمل الفعلية لذلك العالم الذي تلاشى منذ أمد بعيد.

وخشية الخروج أبعد من ذلك إلى طرف لوح يمتد فوق محيط شديد العمق، هنالك جانب آخر يمكننا أخذه بالحسبان: هو أن الحصاة لا تحمل مجرد علامة على محيط بعينه وحالة مناخية بعينها، بل هي جزء صغير جدًّا من آليات الكوكب التي جعلت مناخ الأرض مستقرًّا، وحفظت الأرض من الحرارة المفرطة. وأساس هذه الفكرة بسيط. فالرقائق الداكنة في الحصاة تظهر نسبًا مركزة من الكربون، كانت مدفونة في الطبقة الطينية في البحار النتنة، ذات عوز الأكسجين، وبذلك فقد حيل بينها وبين العودة إلى المحيط، وبالتالي العودة إلى الغلاف الجوي، بصورة ثاني أكسيد الكربون. ومع دفن المزيد والمزيد من الكربون، بدأ ينخفض مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ومرة أخرى يبدو ذلك مقنعًا، فطبقة عوز الأكسجين الغنية بالكربون يمكنها أن تشكل وحدات بسماكة أمتار كثيرة تمتد فوق آلاف الكيلومترات المربعة؛ فتصل كميات الكربون المشاركة في ذلك، في نهاية المطاف، إلى مليارات كثيرة من الأطنان. (ولو كان بوسع حضارتنا دفن جزء من تلك الكمية في برامجنا المقترحة لتخزين الكربون - مع أنها ما زالت برامج في عالم الفرضيات - لتم تخفيف الاحتباس الحراري تخفيفًا فعالًا واقعيًّا).

ومع بدء مستويات ثاني أكسيد الكربون بالانخفاض، فإن درجات الحرارة ستبدأ بالانخفاض. ومن ثم يبدأ الجليد بالتراكم في الأقاليم القطبية؛ وسينخفض مستوى البحر، وستصبح التيارات البحرية

تيارات نشطة. وهذا سيبدل المحيطات إلى حالة الإشباع بالأكسجين، أما الكربون - الآتي من العوالق الميتة التي لا تحصى - الذي كان حتى هذه اللحظة مدفونًا فإنه الآن سوف يستهلك، فيدخل في عملية التنفس، ويتأكسد، ثم يعود إلى المحيطات، ومنها إلى الغلاف الجوي بشكل ثاني أكسيد الكربون. ومع تواصل الأمر، تبدأ مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بالارتفاع من جديد، إلى أن تزداد الأرض دفئًا بما يكفي لذوبان تلك القلنسوات الجليدية، فيرتفع مستوى البحر من جديد... وهَلُمَّ جَرًّا.

وهذه فرضية لطيفة، وهي طريقة متناسقة منتظمة لحفظ مناخ الأرض متوازنًا. إنه جهاز كوكب الأرض السابق لضبط الحرارة، أو الترموستات إذا شئت، تشكل حصاتنا منه جزءًا صغيرًا جدًّا. أو بصورة أكثر تقنية، إنها آلية ارتجاع سالبة، فهي وسيلة للحيلولة دون جموح مخزن الدفء (الدفيئة) ومخزن الجليد. هل هذا أمر مقنع؟ نعم، خاصة لأن تلك كانت الأرض التي ستتطوّر عليها نباتات اليابسة وأتربتها الغنية بالدبال، وبذلك فهي الأرض التي يرجح أن تضرب مناخها المحيطات. لكن هل هذا أمر صحيح؟ أو بصورة أكثر واقعية، هل هو صحيح بما يكفي ليكون له تأثيره الكبير، بين مجموعة من العوامل المتنافسة، والكثير منها أشياء نسعد لجهلها (أو ربما لأننا اختصاصيون: ننزعج لجهلها)؟ فكحال الكثير من الفرضيات اللطيفة في العلوم، لا بد من اختبارها، إلى حدّ تدميرها إذا تطلب الأمر، وذلك بارتداء ملابس العمل الحقلي وجمع بيانات إضافية. وفي نهاية الأمر، ستلقى تلك الفرضية اللطيفة الدعم، وحتى القوة، أو يجري تعديلها (ربما بصورة كبيرة

تغير ملامحها)، أو يمكن ببساطة إهمالها. وهذا هو الأمر اللطيف في العلوم: فكل فرضياته تتبين بعد التمحيص.

## العودة إلى الماضي

هناك ختام لهذه الرحلة للوصول إلى الحصاة، بالرغم من أنه ليس ختامًا مبهجًا جدًّا. فعالَم حصاتنا، هنا، هو قاع البحر الخالي من الحياة التي نألفها، حياة الكائنات متعددة الخلايا من كل دابَّة وهامَّة وبأنواع شتى. إنه عالم مختلف بصورة عميقة عن عالمنا. لكن هناك إشارات في بعض الأماكن، بأنه سيعود إلى ما كان عليه نتيجة النشاط البشري. إلا أن هذا (مع ذلك) ليس احتباسًا حراريًّا أزال الكثير من جليد البحار فتباطأت منظومة التيارات البحرية في الأرض. بل السبب أبسط من ذلك. فما ينثر في اليابسة من النترات والفوسفات لإنبات المحاصيل التي نحتاج إليها في معيشتنا استنفد تلك اليابسة ومجاري الأنهار وصولًا إلى البحار. وفي هذه البحار، تنشط الأسمدة عمليات نمو هائلة للعوالق والطحالب فتبدأ في التسبب في عوز الأكسجين في هذه البحار، مما يودي بالكائنات متعددة الخلايا في قاع البحر إلى الاختناق جملةً.

وندعو تلك المناطق بالمناطق الميتة. وهناك منطقة ميتة في خليج تشيزبيك في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يلتقي نهر سسكويهانا بالبحر. وهناك منطقة ميتة أخرى في خليج المكسيك حول ثغر نهر المسيسبي؛ وكذلك هناك أخرى في بحر البلطيق. وهي اليوم تشمل آلافًا من الكيلومترات المربعة، على الرغم من

أنه بالنسبة لنا، نحن الأغرار بالبحر، ما زالت مناطق غير مرئية فعليًّا، وهي على صورة عامة بعيدة عن إدراكنا (فعلى سبيل المثال، تخيّل الجلبة التي تحدث إذا قُتل كل ما هو أكبر من البكتيريا في بلد بأكمله). فهي ما زالت بمعظمها موسمية: أي أن موتها يحدث في أشهر الصيف، عندما يكون عوز الأكسجين على أشدّه، ثم تحاول أحياء قاع البحر المنهكة بصورة متزايدة إعادة بناء مستعمراتها في الشتاء.

إلا أننا لسنا بعدُ في منطقة الحصاة من البحار الظمأى إلى الأكسجين دائمًا وأبدًا، على طراز العصر السيلوري. ومع ذلك، فإن الحصاة تذكرنا بأن محيطات الأرض قادرة على البقاء في حالات مختلفة جدًّا عن الحالات التي ألفناها منها. كما أن الحصاة تحمل، داخل حجمها الصغير، بينة على حياة المحيطات التي تلاشت منذ أمد بعيد. فعلى خلاف حالات المحيطات، فإن الكائنات الخاصة جدًّا بالعصر السيلوري لن تعود إلى الظهور في مستقبل ما بعد الإنسان. وقد مضى الآن وقت طويل على زوالها، وهي لن تعود أبدًا؛ ومع ذلك تشهد تلك الكائنات الغريبة على تنوع الأشكال التي يمكن للحياة التكيف بها. لقد حان الوقت لاستكشاف البيولوجيا القديمة الحبيسة داخل الحصاة.


6

# رصد الأشباح

## تحت المجهر

الحياة موجودة في كل مكان على سطح الأرض. نشاطها وافر، وضروبها متعددة، وبنيانها متين، وبقاؤها مستمر، ومثابر كل المثابرة؛ إنها موجودة بصورة عظيمة في كل مكان. لقد دهش داروين مما يمكن أن يوجد في أجمة بسيطة متشابكة الأغصان عند رصيف المارة، فكمية من تراب بقدر ما يحمله الرفش يمكن أن تشغل الاختصاصي في علوم الحيوان أسابيع - بما فيها من السوس والديدان والكَهْدَلِيَّات [من سداسيات الأرجل] واليرقات ذات السترة الجلدية - ويمكن أن تشغل الاختصاصي في الأحياء الدقيقة شهورًا. فهناك حياة في أشد الصحاري حرارةً، وفي جليد القطب الجنوبي، وحياة تشد نفسها إلى فوهات البراكين الفائرة. وهي تطير عاليًا في الهواء أيضًا - لا في الطيور والنحلات، بل في الأبواغ وحبات الطلع والبكتيريا الهوائية (الوافرة جدًّا إلى درجة أن بإمكانها أن تجعل هطول المطر أكثر غزارة بالتصرف وكأنها أنوية لقطرات المطر).

وفي الموت أيضًا، يمكن للكائنات أن تكون قاسية. فليست كل الجثث يعاد تدويرها من جديد لتشكل أجيالًا جديدة من الحياة، وليست كل الأحافير من الندرة بحيث أن كلًّا منها يصبح قطعة في متحف، أو يطلب فيها سعر أولي سخي في مزاد علني للتحف

القديمة. إن أشباح الماضي تحيط بنا من كل جانب؛ بشكلها الصلب. والواقع أننا ندين لها بالحياة العصرية المريحة (التي لا ننكر أنه لا يتمتع بها كل الناس)؛ من البيوت ذات التدفئة المركزية وسهولة السفر وكثرة الطعام. فبقايا النباتات والحيوانات الميتة تمد بالطاقة الحضارة البشرية العصرية؛ طاقةٍ على شكل نفط وغاز وفحم. وطبعًا بثمن لا بد من دفعه.

وتحتوي حصاتنا بعض المكوّنات الفحمية داخلها - بقع دقيقة لما هو اليوم كربون بصورة أساسية؛ وهو ما يعطي الرقائق الداكنة لونها. ولعلها اليوم تشكل قدرًا يزيد على 1% من الحصاة؛ وعندما كانت مكونات الحصاة طبقاتٍ من الطين والرمل في قاع البحر السيلوري، فربما كانت النسبة حينئذ نحو 10%. وذلك الكربون كان ذات مرة أجسامًا حية - لكن كيف يمكن للمرء أن يجد نوع الأجسام الحية التي كانت هناك يومًا؟

ربما تبدو أسهل طريقة لمعرفة وفرة الحياة القديمة الحبيسة في الحصاة قاسية جدًا لمتفرّج لا مبالٍ من المارة. والواقع، أن ذلك سيكون النهاية الأخيرة للحصاة، مع أنه يكشف الكثير. وهذا الإجراء اليوم قياسي تمامًا. فالحصاة (أو جاراتها) تسحق إلى كسرات وتوضع في حمض الهيدروفلوريك؛ الذي يحل الصخرة لكنه لا يحلّ المادة الأحفورية القاسية المقاومة للحمض. وما يتبقى من ذلك ينخَل، ويغسَل، ويوضع على شريحة المجهر.

ولننظر في أصغر المواد أولًا. فستظهر تحت المجهر كتلة من الكسرات السوداء بأشكال مختلفة. والكثير منها سيبدو تمامًا مثل كسرات فحمية مجهرية، وليس فيها أي تشابه مميّز مع أي كائن

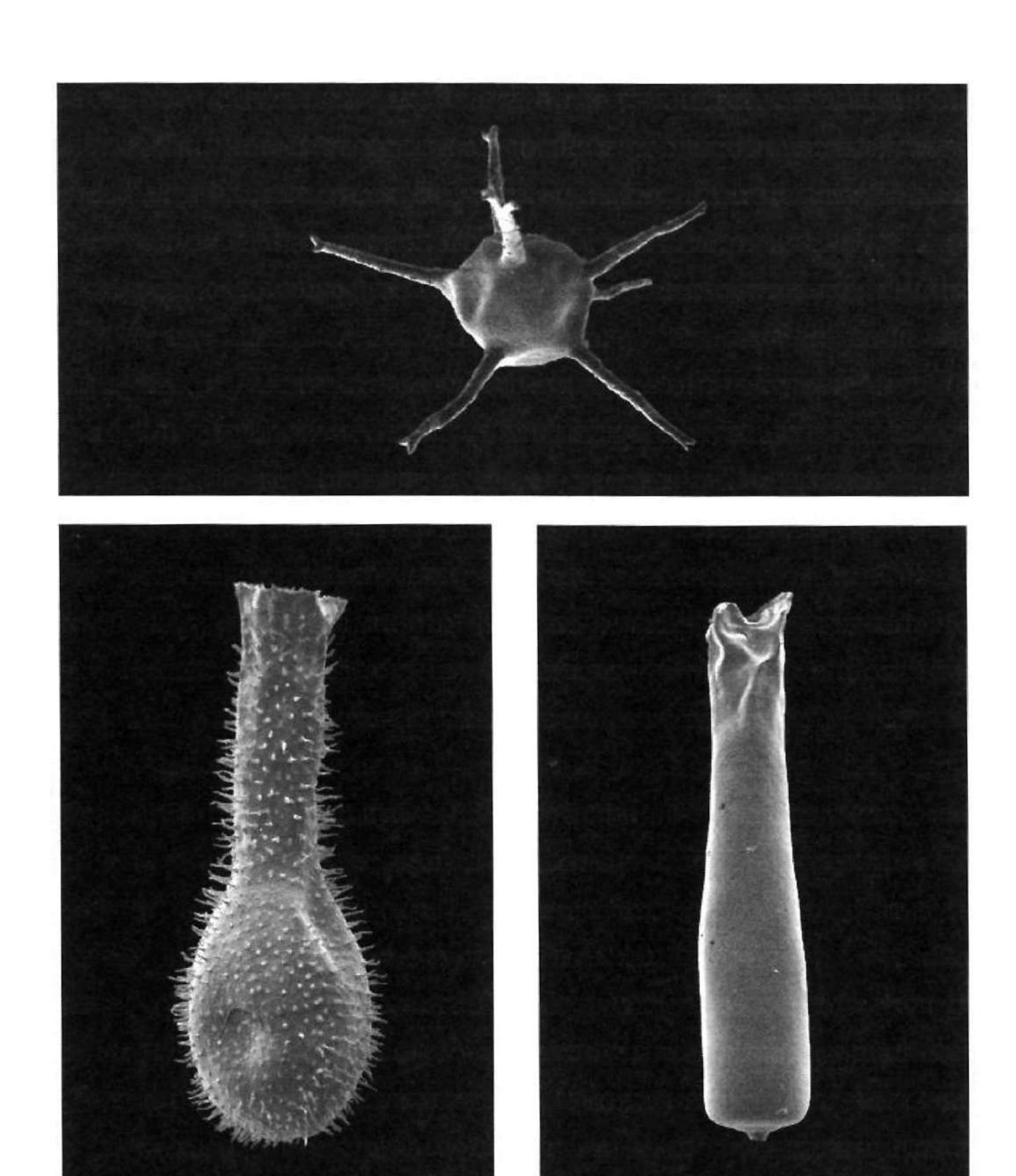
حي، أو خلايا حيّة، أو قطع من الأنسجة الحيّة. وهذه تدعى غالبًا «المادة العضوية غير المتبلورة» من قبل العلماء - الذين اصطلح على تسميتهم بالاختصاصيين في علم غبار الطلع - الذين يدرسون هذه المواد الأحفورية. لقد كانت تلك الكسرات السوداء ذات يوم نسيجًا حيًّا طريًّا، لعله من بُسُط الميكروبات، أو ندف الثلج البحري، لكنه بعد ذلك أصبح هشيمًا جدًّا ومهروسًا جدًّا وارتفعت درجة حرارته جدًّا فلم يبق فيه أثر للبنية البيولوجية الأصلية؛ فيما عدا رواسب من الكربون. ولنا اهتمام كبير بالهرس وارتفاع درجة الحرارة، وسنذكر ذلك لاحقًا، لكن ذلك طمس معظم تفاصيل الحياة في الماضي.

لكن لم تطمَس كلها. فهناك أشكال متميزّة وسط هذه الكسرات المبهمة التي لا شكل لها. منها مثلًا كريات سوداء صغيرة جدًّا، عرضها بضعة أعشار أو أجزاء المئة من المليمتر. بعضها ببساطة قريب من كريات ناعمة، تشبه واحدتها كرة بلياردو سوداء مجهرية إلى حدٍّ ما. وبعضها له ما يشبه الناميات الشوكية؛ وإما أن تكون ذات نقاط حادة، أو تنقسم نهاياتها إلى ضفائر وخيوط. وبعضها هرمية الشكل تقريبًا. وهناك الآلاف من هذه الأجسام في الحصاة.

ولها اسم، إلا أن التسمية لا توصل دائمًا المعنى بالقدر الذي نفهمه. والاسم نفسه مناسب - إنها تدعى الأكريتاركات، وهي كلمة تعني «الأجسام ذات الأصل الملتبس»، والمصطلح ينطبق على أي أجسام أحفورية غائرة مستديرة صغيرة جدًّا لها جدار عضوي؛ قاسٍ بما يكفي لمقاومة حمض الهيدروفلوريك. ولعلها تمثل كائنات من أنواع مختلفة، منها ما قد يكون طحالب من

العوالق؛ خضراء وحيدة الخلية. إلا أن هذه الأركيتاركات ليست الطحالب نفسها - بل هي حويصلات الطحالب، وهي غلاف خارجي يحميها نشأ لها في أيامها العصيبة التي مرت بها لسبب أو لآخر - مثلًا عندما كان غذاؤها شحيحًا. إنها نوع من آلية السبات عند هذه الكائنات. فعندما تنمو للطحالب هذه الأغطية القاسية، تغوص إلى قاع البحر، وتنتظر إلى أن تتحسن الظروف المحيطة بها، وتنبثق من شق في هذا الغلاف إذا بدا أن أيامها الطيّبة عادت كرّتها، وتنطلق مباشرة عائدةً إلى الأعلى إلى ضوء الشمس.

واليوم، من المرجح أن سلالة الأركيتاركات (أو بعضها على الأقل) هي الطحالب البحرية المتنقلة التي تدعى ذوات السوطين. وهذه لها كذلك أكياس تنمو فوقها، ولها تصميم أكثر تعقيدًا، فيه فتحة للخروج ذات شكل هندسي جميل. وبعضها، مثل الفيستيريا المفزعة، لها سمعة مشؤومة بأنها قادرة على التكاثر بصورة هائلة لإنتاج «المد الأحمر»، وهو ازدهار سام في الماء يميت الأسماك (والبشر أيضًا). ويبدو أن ذوات السوطين تنتج أكياسًا تكون وافرة بخاصة عقب هذا الازدهار، وبذلك فإن الأكريتاركات التي في الحصاة من المحتمل جدًّا أن تكون صدًى لهذا الازدهار والنشاط في العصر السيلوري. وربما كان ذاك



الشكل 3 - الأحافير الدقيقة السيلورية؛ من النوع الذي يمكن للمرء أن يجده في الحصاة -

واحدة من الأكريتاركات (في الأعلى) واثنتان من الكيتينيات (في الأسفل).

الازدهار سامًّا أيضًا. فالحرب الكيميائية وسيلة بسيطة وفعالة في فض النزاعات بين أصناف الكائنات؛ ولعل لها تاريخًا طويلًا جدًّا على كوكب الأرض.

وسأخمّن أن من بين الأكريتاركات في الحصاة بضع عيّنات من نوع واحد يدعى المويريا، وله شكل يشبه قليلًا كرة قدم أمريكية صغيرة جدًّا مفرغة من الهواء. ويعتقد أن المويريا كانت تعيش في المياه العذبة، لكن جرفتها الأنهار بسهولة، وحملت إلى أعماق البحر بتيارات العكارة الفعالة. ولعلها في العصر السيلوري كانت من أقارب اليوغلينا التي تزخر بها البرك والمسيلات المائية اليوم. واليوغلينا لها حضور كبير في الدروس المدرسية في البيولوجيا، تقريبًا بقدر ما للأميبا. وهي ليست نباتًا تمامًا (فهي تصطاد، وتقتل، وتأكل الكائنات الدقيقة الأخرى)، وليست حيوانًا تمامًا (ففيها الكلوروفيل، والتمثيل الضوئي). كما أنها تشكل أكياسًا حولها وقت نومها. ويمكن للمرء أن يتخيل لمعان نجمها - إذا ما جرى تكبيرها إلى حدٍّ ما - في أحد الأفلام السينمائية عن الوحوش المرعبة. وبعض أشكال اليوغلينا تتحرك باتجاه الضوء، وهو مظهر سلوكي دُرِس في -اقتبستُ العنوان حرفيًّا- مختبر المصادفة والإثارات البحرية في بريتيش كولومبيا (وهو عنوان مكان عمل

يحسدون عليه). واليوغلينا التي تبدي هذا السلوك تتميز بنمط حلزوني خاص - وهو نمط وجد أيضًا في أحافير الموريا، مما يشير إلى أنها كانت تتجه كذلك إلى الشمس.

وهناك أحافير أكبر، تظهر بين بقايا الحصاة المنحلة بالحمض. وتلك البقايا، إذا فصلت على منخل ذي شبكة خشنة، ستظهر العشرات - وربما المئات - من الأجسام الصغيرة التي لها شكل الدورق، وكل منها بحجم رأس الدبوس. وهذه أيضًا مخلوقة من مادة عضوية قاسية، كان يظن أنها الكيتين، وهي المواد التي خلق منها الهيكل الخارجي للقشريات والحشرات، وقد افترض ذلك الرجل الذي اكتشفها في ثلاثينيات القرن الماضي، الألماني (أو البروسي الشرقي آنذاك) ألفريد أيسناك (Alfred Eisenack). وكان أيسناك رجلًا أُوقف عن ولعه بالبحث مرتين، لكن لم يثبط، فقد قضى فترتين طويلتين سجينًا من سجناء الحرب. وبعد الحرب العالمية الأولى، وصف إقامته في السجن في صربيا الشرقية، حيث كان يعمل كيميائيًّا، بأنها أفضل أيام حياته. لكن في المرة الثانية، وكانت مدةً طويلة من الأسر بعد أن اعتقله جنود الجيش الأحمر، أُوقفت أبحاثه، وأجبر على السير إلى الاتحاد السوفييتي، ولم يذكر إلا القليل عن تلك التجربة.

ربما لا تكون الكيتينيات مخلوقة من الكيتين، فلا أثر لهذه المادة فيها بعد إجراء تحليلات كيميائية معقدة. وما زال من غير المعروف بدقة المادة التي خلقت منها، لأن ملايين السنين التي مضت لم ترحم الجزيئات العضوية الرقيقة المعقدة (على الرغم من أنها لم تضعف مقاومتها لأحماض المختبر الفتاكة). وقد أعطي لها اسم أفضل هو «شبه الكيتين»، أي أنها «تبدو مثل

الكيتين لكنها قد لا تكون نفسه». لكن كما هو الحال دائمًا مع الأحافير، فإن الشكل هو الأمر المهم فيها.

والكيتينيات بصورة أساسية هي قوارير ضئيلة: بعضها كبير، وبعضها صغير، وبعضها أسفله مسطح، وبعضها أسفله مستدير، وبعضها له، كما للأركيتاركات، نتوءات تشبه العمود الفقري أو الشوكة بأوضاع مختلفة. وسطح هذه القوارير، إذا نظرنا إليه باستخدام مجهر المسح الإلكتروني، فيه مجموعة متنوعة رائعة من الأنسجة، مرت عليها كل القوى العظيمة التي يصفها علماء الأحافير. وبالنسبة لجامعي النماذج النادرة والقيِّمة من نعوت اللغة الإنكليزية المبهمة، سيجدون هنا منجم ذهب لهم. فعلى سبيل المثال، نجد النعت بكلمة المتغضِّن - وهو ما له انثناءات تشبه التجاعيد غير المنتظمة. والمُدَوَّد - وهو ما يشبه الدود، عندما تصبح الانثناءات أكثر تلوِّيًا. والمشبَّك - وهو سطح ذو شبكة من الانثناءات النافرة في نمط يشبه خلايا النحل. والمنقَّر - وهذا نعتٌ لن يجد الآباء، ممن عندهم أطفال صغار، صعوبةً في فهمه.

وهذه النعوت تعني أن هناك الكثير مما يمكن وصفه، وتصنيفه، وتحليله، من هذه الأجسام. وهناك الكثير لنمضي في بحثه، كثرة كاثرة من البيانات. لكن، كل الوصف الذي يوضع لها: ما هي الكيتينيات، أو أين الكيتينيات؟ وكيف يمكن للمرء تفسير هذه القوارير الدقيقة الأحفورية؟

ولا يزال هذا الأمر أحجية -ويزداد غموضًا بشدة في الأكريتاركات. وهناك افتراضات كثيرة. فقد كان يعتقد أن الكيتينيات كائنات كاملة بمجملها- حتى أقاربها المنتفخة من

الأكريتاركات هي نباتات. والبعض ظن أنها فطور، وآخرون ظنوها أميبا. إلا أن الفرضية التي لها الصدارة، وطرحت منذ اكتشافها، هي أنها أكياس بيوض لبعض الكائنات الكبيرة. وهناك عقبة صغيرة أمام هذه الفرضية، هي أنه لا يوجد أكياس بيوض تشبه من بعيد الكيتينيات اليوم. ومع ذلك، فهناك بعض البينة على هذه النظرية، ولو كانت ظرفية بعض الشيء. فهي لا توجد دائمًا بصورة فردية. ففي بعض الأماكن، تكون في سلاسل - أو بوضوح أكبر، على شكل عناقيد منتظمة حلزونية، وهي وضعيات تصاحب وضع البيوض الكثيرة.

لكن لأي الكائنات تعود تلك البيوض؟ لقد افترض أنها لبعض الكائنات التي كانت شائعة أيضًا في العصر السيلوري. فعلى سبيل المثال: النوتيانيات المخروطية المستقيمة وهي الأسلاف ذات القواقع المستقيمة للأمونيات؛ أو الكيسانيات من أقارب نجم البحر. وللأسف فإن هذه الأفكار ليست مناسبة تمامًا، لأسباب ليس أقلها أنه على الرغم من وجود هذه الكائنات أحيانًا في صخور من النوع نفسه، وعصرٍ من العصر نفسه الذي للكيتينيات التي ندرسها، إلا أنها توجد معًا بصورة منتظمة تمامًا. وهناك دائمًا سوء تقدير، كبير بما يكفي لمنع أي مرشحين معروفين آخرين (مثل ثلاثيات الفصوص) من أن ينظر إليها على أنها هي منتِجات الكيتينيات، والكائنات الأخرى (كالديدان الحلقية) من النادر جدًّا أن تكون أحفورية لنستطيع أن نجري مقارنة مباشرة معها.

وهكذا، فهناك كائن غامض نبحث عنه. وقد أعيد صوغه مما يُعرَف أن الكيتينيات جاءت منه، ومن حيث كانت. فالحيوان (الذي لا يتصرف كالنبات) هو حيوان متعدد الخلايا، بطول يتراوح بين

بضعة مليمترات وبضعة سنتيمترات. وكان بالكامل جسمًا طريًّا - بخلاف بيوضه، التي نشأت داخله وأطلقت منه، بشكلها الكامل. وكان يطفو، أو يسبح في طبقات السطح المشمس من البحر، لأن الكيتينيات منتشرة بصورة واسعة عبر الطبقات الأرضية التي تمثل البحار السيلورية الضحلة منها والعميقة، بما فيها البحار التي كانت ظمأى إلى الأكسجين في أعماقها. وهي تنفر من أشياء معينة - فعلى سبيل المثال تتجنب الشعب المرجانية. وهذا الحيوان الشبح هو، حتى الآن، مجرد مجموعة من الخصائص والعادات والخصال المستنتجة كذلك ليس له شكل حتى الآن، ولا وجه، ولا موضع في شجرة الحياة.

وبعيدًا، في مكان ما، هناك حجر رشيد من الكيتينيات: لوح من الصخر يحفظ كلًّا من الانطباع الكربوني لحيوان الكيتينيات وسلاسل البيض داخله، وهي تنتظر الانطلاق. وسيجده شخص ما، وسيدرك ما هو عليه (وذلك الجزء الثاني جزء حاسم، لأنه من الممكن - وحتى من المرجح - أن يستلقي اللوح الحاسم في قبو متحف في مكان ما، ولم يعثر عليه بعد اختصاصي أحافير لديه الخبرة الكافية). وعندئذ سيكون هناك جلبة قصيرة بين اختصاصيي الأحافير، واحتفالات، وإعداد نشرة صحفية بكلمات منمقة غاية التنميق. فهناك لغز جديد في عالَم الأحافير يكون قد حل، وفي اليوم التالي سيعود اختصاصيو الأحافير (ويكون واحد أو اثنان منهم مصابين بدوار خفيف من حالة السُّكر التي هم فيها) إلى أعمالهم، فهناك الكثير من العمل الذي ينتظرهم، وعليهم كشف غوامض أخرى كثيرة.

لكن تلك ليست نهاية معرض الحيوانات المنقرضة في الحصاة. فهناك كائن آخر فيها، وله شجرة عائلة أكبر (من الدراسة على الأقل)، وهو شكل متميز بصورة مدهشة ويمكن ملاحظته، وله كما سنرى أقرباء حديثون قريبون جدًّا منه بحيث إنه يمكن أن يكون أحفورة حية. لكن، وعلى نحو متناقض، فهذا الكائن الآخر من العوالق يتنافس مع الكيتينيات في الغموض. والواقع أنه ربما يكون قد أتى من الفضاء الخارجي، لعدم وجود أي تشابه بينه وبين أي فرد حديث من العوالق.

فإذا نظرنا عن قرب إلى الحصاة، بين الأشرطة السوداء الناعمة، في مكان أو آخر، هناك بقعة ذهبية، وربما تكون مشوبة بشيء من اللون البني الضارب إلى الحمرة، بعرض حوالي مليمتر واحد. وإذا نظرنا من قرب أكبر، باستخدام العدسات اليدوية، سترى هذه البقعة تحيط بها حلقات سوداء، وأبعد منها هناك حلقة أعرض من معدن ليفي شاحب. وعند هذه النقطة حان وقت العمل. للكشف عن هذا الوحش من أعماق البحار (وبالنسبة للعوالق الدقيقة فإنها وحش بحق)، لا يمكن للمرء أن يستخدم الأحماض القوية الفتاكة - ليس في حصاتنا على الأقل. فالوحش لن يتحلل، بل هو سيتفتت إلى كسرات دقيقة عندما يتحرر من الحصاة. والنهج اللازم هنا شبيه بجراحة الدماغ، لكنه يطبق على الصخور.

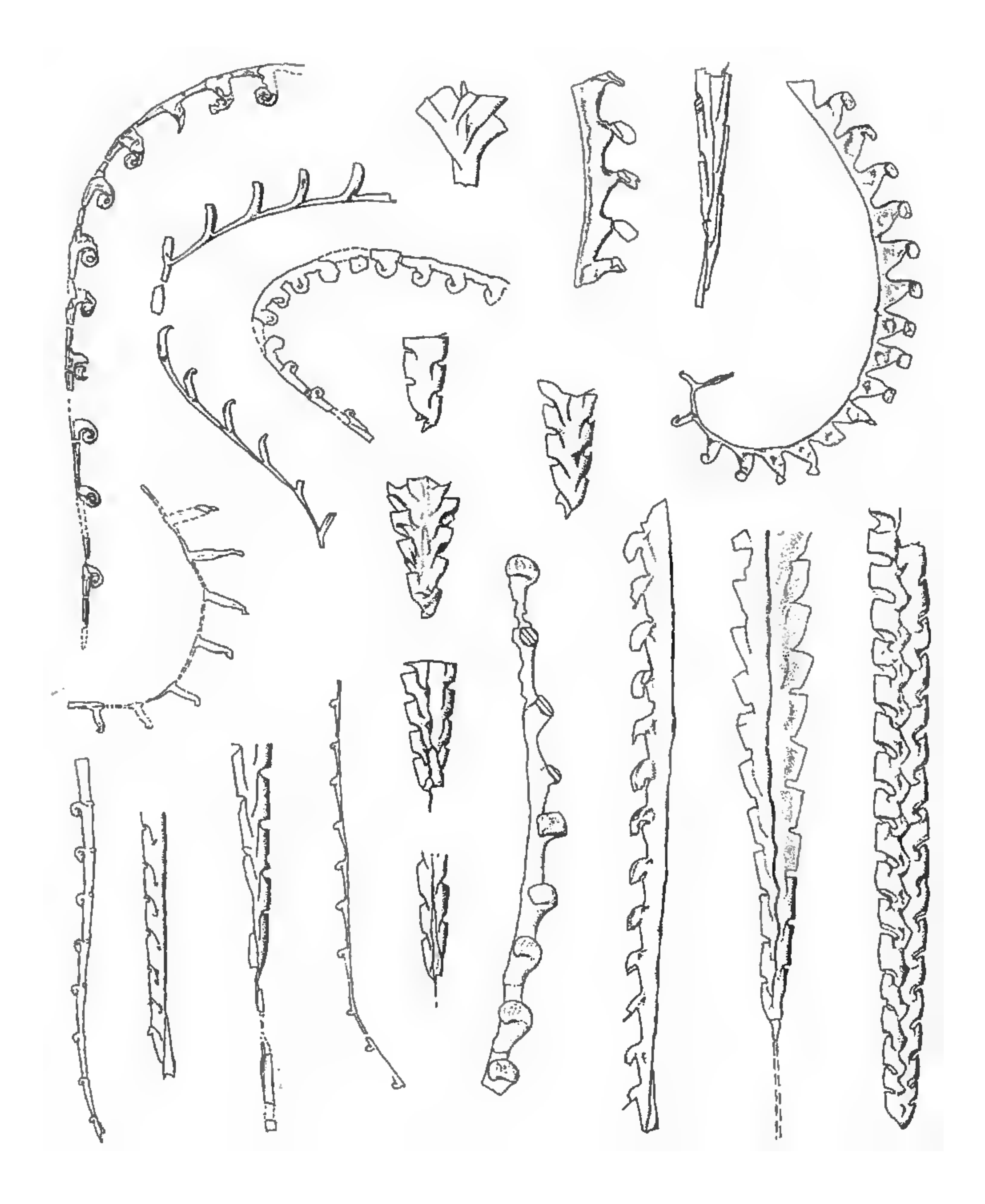
عليك بأخذ إبرة حادة موضوعة في حامل إبرة، بحيث يمكنك حملها وكأنها قلم رصاص. وإبرة الخياطة العادية بالغة المرونة

إلى حدٍّ ما - فالأفضل أن نستخدم إبرة الغراموفون الفولاذية من الطراز القديم. ويجب أن نقوم بالعمل تحت مجهر ثنائي العينية (فالعدسة اليدوية لا تكفي هنا بالمرة): وسيحتاج المرء إلى استخدام كلتا يديه، مع التكبير الضخم والإضاءة الجيدة. والصبر. وبعد أن تحمل الحصاة بإحدى يديك، اضغط الإبرة في الصخرة فوق البقعة السوداء والذهبية مباشرة. وعليك أن تضغط بقوة كافية لتكسر شريحة صخرية من الحصاة، وتبعدها عن البقعة - لكن لا تضغط بقوة مفرطة فتخترق البقعة - ولا حتى تلمسها. وعمليًّا، يعني ذلك أن مجموعتي العضلات في ذراعك ينبغي أن تنثنيا إزاء بعضهما بعضًا، فمجموعة عضلية تدفع الإبرة إلى الحصاة، والأخرى تسحب حافة الإبرة في اللحظة المناسبة بحيث تنقسم الشريحة الصخرية. وهذا يحتاج إلى قدر وافٍ من الحرص للقيام بذلك بدقة، بحيث لا تزيل المادة السوداء أيضًا - فهي بسماكة جزء من المليمتر وهشة جدًّا. وإذا حدث ذلك، ذهبت المادة الأحفورية نفسها، حيث تتكسر إلى أجزاء صغيرة جدًّا. لكنها لا تضيع كلها؛ فالمادة الذهبية التي تحتها مباشرة أشد قساوة، وتعطينا صورة ناجحة من داخل الأُحْفورة.

أكمل عملك في تشريح الصخرة، شريحة بعد شريحة، وغالبًا حبيبة بعد حبيبة، تبعدها عن الرقعة السوداء والذهبية. وبعد بضع دقائق، فإن الرقعة التي أصبح لها بعدٌ ثالث، تكشف عن نفسها بأنها بنية أنبوبية تتخلل الصخرة، أنبوب أسود رقيق جدًّا تملؤه مادة ذهبية صلبة. والمعدن الليفي الشاحب الذي فوقه مباشرة يضحَّى به كذلك، ليكشف عن المادة السوداء تحته (مع أن هذه الألياف المعدنية سيكون لها في نهاية الأمر استخداماتها الخاصة بها، كما سنرى لاحقًا). وبعد بضع دقائق (وذراعك الآن متعبة،

نتيجة المجهود الذي بذلته في أن تكون مثنية بإحكام وفي الوقت نفسه تتحكم بها تحكمًا دقيقًا)، ستدرك أن الأنبوب يتسع -ثم يضيق بصورة حادة جدًّا. ومع استمرارك بالحفر في عمق الصخرة، فإنه يبدأ بالاتساع ببطء من جديد- ثم يعود ليضيق فجأة مرة أخرى. يكفيك هذا! فقد حان الوقت لترتاح، وتشرب فنجانًا من الشاي.

إن ما كشفته هو بنية تبدو مشابهة قليلًا لنصل منشار دقيق. وإذا واصلت تتبُّعه في عمق الحصاة (بحفر قناة أعمق فأعمق داخل الصخرة)، فقد يصل لمسافة سنتيمتر واحد، أو أكثر. وقد يتسع، أو يضيق، أو ينثني بلطف، أو ينحني بشدة، أو يدور في شكل حلزوني،



الشكل 4 - أنماط المستعمرات في العوالق السيلورية - رسومات بالكاميرا الاستجلائية
لغرابتوليتات أحفورية، مكبرة حوالي ست مرات.

أو قد يتغير نمط أسنان المنشار من زاوية منخفضة إلى زاوية مرتفعة. فالاحتمالات الهندسية كثيرة. إنه حيوان من الغرابتوليتات (graptolite) (اللوحة 2ج-و، والشكل 4).

الغرابتوليتات أحافير ذات مظهر غريب، وعند النظر إليها للوهلة الأولى تبدو كتابات هيروغليفية معقدة أو نموات بلورية؛ لا بقايا ما كانت يومًا كائنات حية. لقد كان لها شهرة ضعيفة في وسائل الإعلام. ففيما يخص قدرة الأحافير على الوصول إلى الشهرة واجتذاب الناس، فإنها للأسف لا تتخلف كثيرًا عن خطى الديناصورات وحسب -كما يفعل كل كائن حي أو ميت- بل هي تتخلف أيضًا عن خطى ثلاثيات الفصوص، والأمونيَّات، وحتى قواقع البحر الوضيعة. وبين صغار طلاب الجيولوجيا (من أي عمر كانوا)، تعرف الغرابتوليتات: أولًا بأنها بلهاء، وثانيًا (وهو الترياق لبلاهتها) بأنها تنتشر باعتدال على سطح الصخور كأنها خطوط إبداع فني بقلم رصاص، بما يمتع الطالب المازح اللعوب ويربك الأستاذ الغشيم الضعيف.

إلا أنها أحجية بيولوجية في المقام الأول. فمعظم الأحافير يمكن تفسيرها بمقارنتها بأقاربها من الأحياء، للتمكّن من إعادة صوغها، بصورة مثيرة قريبة من المألوف -كما في حالة التيرانوصور مثلًا. والتيرانوصور ذو الأسنان الحادة والأرجل التي تساعده على السرعة، ربما كان من كبار المفترسات- أو، في بعض التفسيرات، كان قمَّامًا يأكل جيف الحيوانات متنقلًا دائبًا في ذلك. فباستخدام سلوك مكافآتها الحديثة الإيكولوجية (كالتماسيح مثلًا)،

يمكن للمرء أن يضع نموذجًا مقنعًا لها ولسلوكها في فيلم سينمائي رائج أو برنامج وثائقي مثير على التلفاز. وبالنسبة للغرابتوليتات، فلها قريب حي - وهو أيضًا مما يجعل تفسير هذه الكائنات المنقرضة تفسيرًا مذهلًا، وبالنسبة إلى بعض العلماء قريبًا جدًّا من التفسيرات التي لا تصدَّق.

ولنأتِ أولًا على ما حدث أولًا. فالجسم الذي قمنا بالتنقيب عنه بحرص شديد هو بصورة أساسية أنبوب؛ أنبوب مملوء بمعدن ذهبي (وذلك طبعًا له في نهاية المطاف قصته الخاصة به). والأنبوب الأسود ليس أنبوبًا بسيطًا، بل له تفرعات تفصل بينها مسافات منتظمة - في كل مليمتر تقريبًا - مفتوحة على العالم الخارجي. وهذه هي التي تظهر لنا وكأنها أسنان منشار إفرادية لتلك الأحفورة التي لها شكل نصل المنشار الدقيق. والأنبوب مصنوع من مادة عضوية قاسية، مثل الحالات المحفوظة للأكريتاركات والكيتينيات. وهي الآن سوداء ومكربنة، يعتقد أنها أصلًا كانت تحتوي الكولاجين؛ وهي مادة خلقت منها مثلًا أظافرنا. والجسم كله كان مستعمرة، وكان كل أنبوب جانبي قصير «بيتًا» لحيوان مفرد، أو حُيَيْوين (حيوان دقيق)، وهذه الحُيَيْوينات المنفردة يرجح أنها تجتمع في ممرها المشترك، مثل فريق من متسلقي الجبال مربوطين معًا. وهذه المستعمرات كانت جزءًا من العوالق، وكحال الأركيتاركات والكيتينيات، سقطت في قاع البحر مُعْوِز الأكسجين بعد موتها، ودفنت في تلك الأوحال السوداء الراكدة. وإذا نظرنا إليها عن قرب، فإن شكلها الإجمالي مميز، فهو بنية تصل إلى تعقيد الزخرفة المتناسقة المفصلة، ومع ذلك فقد بقيت، لكل نوع من الأحياء، مصممة بدقة واتساق. والغرابتوليتات المحفوظة جيدًا (وحتى الغرابتوليتات في الحصاة، إذا كنت

محظوظًا وحريصًا في عملك بالإبرة)، تظهر لنا أن الأنابيب، مع أنها معقدة في شكلها الإجمالي، مصنوعة من حلقات متتابعة كثيرة، وهذه تكشف لنا نمط النمو، من البدايات الأولى إلى مستعمرة مكتملة.

وفي قاع البحر اليوم، في مكان أو في آخر، عناقيد من الأنابيب ذات أبعاد مشابهة بعض الشيء، وهي مستعمرات كذلك، ومصنوعة أيضًا من مادة عضوية قاسية، وكل أنبوب كذلك مصنوع من حلقات متتابعة. وبإمكانك أن تجدها مثلًا في قيعان بعض الأزقة البحرية النرويجية، أو تحت ساحل خليج بليموث ساوند، أو حول جزر الباهاما - ولعل هذا المكان سيغريك أكثر من غيره للتحقق منها فيه. وفي كل أنبوب هناك حيوان دقيق، وعندما يظهر نفسه للعالم، يكون جميلًا إلى حدٍّ ما. إنه بقعة نسيجية، تعلوها مجموعة من المجسات الرقيقة؛ وهو يتغذى باستخدام هذا الجهاز المثير، فيصفي الكائنات المجهرية الطافية من مياه البحر من حوله. وهذا الكائن هو من جناحيات الغلاصم ؛ وإذا لم تكن قد سمعت به من قبل، كحال كثيرين، فهو واحد من الكائنات الصغيرة التي لا تكاد تُعرَف في بيولوجيا قيعان البحار الحديثة. وبسبب تشابه البنية الحلقية لأنبوبه مع الغرابتوليتات الأحفورية، فهو مرشح جيد جدًّا ليكون القريب الحي للغرابتوليتات، على الرغم من حقيقة أنه يتوارى في قاع البحر (فيختبئ غالبًا تحت قواقع بحرية مقلوبة وما أشبهها) أما الغرابتوليتات فكانت تعيش ذات يوم عند سطح البحر - ولعلها كانت تسوده.

لكن جناحيات الغلاصم، وعلى الرغم من خجلها، تلفت الانتباه في جانب معين. فهي معمارية وبنَّاءة. وأنبوبها ليس عمودًا فقريًّا، مثل قواقع الرخويات، أو العظام التي في أجسامنا، أو الكؤوس القاسية للمرجان. بل هو بناء مثل شبكة العنكبوت أو عش النمل الأبيض: أي أنه منتج من سلوك الحيوان. فهناك تحت كتلة مجسات الحُيَيْوين جناحِيِّ الغلاصم، وقرب فمه، قرص مستدير من الأنسجة. وبين الفينة والأخرى، يمد الكائن هذا القرص إلى الخارج، ويثبته عند طرف أنبوبه. وبعد أن يفكه بعد بضع ساعات، يصبح الأنبوب أكثر طولًا بحلقة جديدة أضيفت إليه؛ وبذلك يتسع بيت الحُيَيْوِين، وتزداد فيه راحته بعض الشيء.

فهل تقوم الغرابتوليتات بالأمر نفسه؟ كان يعتقد سابقًا أنها لا تفعل ذلك، فقد بدا من الصعب كثيرًا على هذه الكائنات «الدنيا» التغلب على مشكلات البناء. فمع أن جَناحيات الغلاصم تقوم بعمل فعال بصورة متقنة، فإن عملها ليس إلا أفضل بقليل من بناءٍ متداعٍ (وعلى المرء أن يدافع عنها على ما أعتقد)، فأنابيبها ما هي إلاَّ فوضًى غير مرتبة؛ تشبه تشابكًا صغيرًا في المعكرونة أكثر من أي شيء آخر. وبالمقابل فإن الغرابتوليتات مبنية بصورة ممتازة، إنها تمثل بيضة فابرجيه مقابل قالب صلصال لطفل تمثله جناحيات الغلاصم. فلم يكن كل نُزُل فرد مبنيًّا بصورة رائعة وحسب (فغالبًا ما يكون لها شوادر ومصاطب ونتوءات تشبه الأشواك)، بل كلٌّ من هذه الحجرات متصل أيضًا بنعومة بالحجرة المجاورة، مما يظهر تعاونًا متقنًا بين الجيران لتحقيق هذا الاتصال بين الحجرات.

أهو أمر مستحيل؟ حسنًا، عندما استُخدِمت المجاهر الإلكترونية أول ما استُخدِمت في تحليل الغرابتوليتات المحفوظة بصورة ممتازة جدًّا، كان الانتباه مركَّزًا على طبقة سطحية تغطي الحلقات وكأنها شريط لاصق يغطي لبنات جدار منزل. وهذه الطبقة السطحية كان يبدو أنها مصنوعة من شرائط مسطحة مرتبة بطرق مختلفة من أنسجة عضوية قاسية، تذكرنا بالضمادات الملفوفة بطريقة غير مرتبة حول مومياء مصرية قديمة. وليس هناك ما يُقنِع بأن هذه الطبقة يمكن أن تتشكل وكأنها عمود فقري داخلي تحت الأنسجة الطرية، فكان التفسير المنطقي الوحيد هو أن الحُيَيْوينات، بعد أن أنهت تصنيع القوقعة الأساسية لمنزلها، أنهت عملها بتمليط بنائها، بالمعنى الحرفي للكلمة، من الداخل والخارج، بزلق أقراصها التي تخرجها على الحائط، تمامًا كما يقوم الملَّاط بعمله بمجرفته الصغيرة. إلا أن بعض العلماء ما زالوا يعترضون على ذلك، ويشيرون إلى وجود تصميم شنيع إلى حدٍّ ما - فمثلًا نوع الغرابتوليتات الذي ليس له جدران صلبة بل له شبكة، لا بد أن حُيَيْويناته البارعة بصورة لا تصدق لها بديع صنعٍ قريبٍ من ذلك البناء - ويقولون إن الأمر ليس على ذلك النحو.

ومهما كانت قيمة ذلك، فأنا أظن أن البينة على أن حُيَيْوينات الغرابتوليتات كائنات بنَّاءة، مقنعة جدًّا؛ لدرجة أن الأمر لعله كان كذلك. إلا أن الصورة الخيالية جدًّا التي تبدو من الخيال العلمي هي أن: هذه المستعمرات الغريبة التي تشبه الأغصان الصغيرة، قد بنت منازل تخصها تضاعفت لتكون مراكب للسفر عبر المحيط، ومن ثم جدفت عبر البحر بها. وتذكَّر أن هناك جدالًا آخر في المناقشات الجارية بشأن إن كانت هذه المستعمرات قد طافت، أو سبحت - وذلك بتواقت نشاط مجساتها الضاربة[21].

(والمجسات التي نضعها لها في مخيلتنا مأخوذة مباشرة من جناحيات الغلاصم، لأن هذه البنى الرقيقة لم توجد يومًا بمثابة أحفورة). وعلى الرغم من ذلك، يمكن للمرء أن يتخيل كائنات الغرابتوليتات تتغذى على طحالب الأكريتاركات؛ وتتنافس مع كائنات الكيتينيات الغامضة، أو تتجاهلها، أو تطاردها، أو تختبئ منها؛ ثم تنقطع لتكب على إتمام إتقان مهاراتها المعمارية. إنها حياة رائعة في الواقع.

إنه لمن البديع أن نلقي نظرة خاطفة على هذا البحر السيلوري؛ المختلف عن بحارنا. فلا أسماك فيه، ولا دلافين ولا حيتان، ولا خنازير بحر ولا فقمات ولا أحصنة بحر. بل هو عالم من العوالق الصغيرة، التي تحجرت بصورة آثار تكاد لا ترى، محفوظة اليوم في الحصاة، إنها حياة أعيد صوغها بعناية بفضل سنوات طوال من العمل بأيدي الكثير من العلماء. إلا أن هذه النظرات الخاطفة التي ظفرنا بها بصعوبة، لم نحصل عليها بمعظمها بالفضول البسيط، مع أن له دورًا في ذلك. فهناك سبب انتفاعي كبير وراء الرغبة في استكشاف أكبر قدر يمكن استكشافه عن هذه الكائنات التي عاشت ذات يوم. فباحتواء الحصاة على هذه الآلاف من الجِيَف، فإن الحصاة لا تحوي فقط سجلًّا بيولوجيًّا وإيكولوجيًّا. إنها تحوي الزمن نفسه.

## الإمساك بالزمن

الزمن هنا، ليس تعبيرًا تجريديًّا مما ينكب على التأمل فيه الفلاسفة وعلماء الكون. بل هو الأداة التي بوساطتها يحول الجيولوجيون ما كان كتلة بحجم الكوكب من الحساء الصخري المبهم إلى نمط هندسي متماسك ومن ذلك يقرؤون التاريخ المعقول، أي قصة أحداث كوكب الأرض. لكن من غير المعقول أن نأخذ مثلًا بحيرات محفوظة منذ 100 مليون سنة في الصين، وطبقات نهرية عمرها 200 مليون سنة في روسيا، ودلتا نهر أحفورية وادعة في ألمانيا منذ 300 مليون سنة، ومن ذلك كله نعيد بناء مناظر اليابسة القديمة. فلإنتاج لقطة للأرض القديمة، يحتاج المرء إلى أن يضمن أن الأجزاء المختلفة من الصورة تمثل الفترة الزمنية نفسها؛ تقريبًا بالقدر الممكن. وأفضل ما يدلنا عمليًّا على الزمن السحيق هو الأحافير الباقية؛ لأن كل نوع بيولوجي (أو مجموعة بيولوجية) وجد على الأرض زمنًا لنشوئه، وزمنًا لوجوده، وزمنًا لانقراضه. ولم يعد إلى الحياة بعد الانقراض.

وتجزئة الزمن إلى وحدات هو أمر سهل عندما تكون وحدات الزمن كبيرة جدًّا. وهكذا نرى عوالق الغرابتوليتات في بريطانيا موجودة فقط في صخور من العصرين الأوردوفيشي والسيلوري، أي أنها في الطبقات الأرضية التي نعرف اليوم أنها بعمر 400 مليون سنة إلى 500 مليون سنة تقريبًا. فإذا وجدت كسرةً واحدة (يستطيع تمييزها طالب الجيولوجيا الجامعي في السنة الأولى من دراسته) فإن الطبقة الأرضية التي خرجت منها تلك الكسرة لا بد أن تكون بالعمر نفسه. وكل شيء على ما يرام حتى الآن، لكن لتجزئة تلك الوحدة الكبيرة من الزمن، يحتاج المرء إلى أن يقدِّر أن هناك أنواعًا بيولوجية مختلفة من الغرابتوليتات عاشت في أزمان مختلفة، ثم عليه أن يتعلم تمييز هذه الأنواع البيولوجية وأن

يعرف الزمن الجيولوجي الذي عاش فيه كل منها بالضبط، ومتى انقرض كل منها.

ويعود الفضل إلى السير والتر سكوت (Walter Scott)، وبلا وعي منه البتة والحق أن الأمر حصل بعد وفاته، في أن جعل الغرابتوليتات تتميّز بأنها النجوم الساطعة في الزمن الجيولوجي، وكان ذلك لأكثر من قرن مضى. فهذا المؤلف المكثر بلا كلل كان الكاتب المفضل عند تشارلز لابورث (Charles Lapworth)، وهو طفل مغرم بالكتب من بلدة فارنغدون الإنكليزية. وأصبح لابورث أستاذ مدرسة، واختار العمل في غالا جنوبي اسكتلندا؛ لأن ذلك الريف الاسكتلندي احتضن الروايات الرومانسية للكاتب سكوت. وفعلت رواية إيفانهو لسكوت فعلها، فوجد لابورث هناك فتاة أحلامه من بنات الريف وتزوجها. كما أنه وجد حبًّا آخر، ظل معه في رابطة امتدت طوال الحياة. فبينما هو يمشي في هضاب المرتفعات الجنوبية في اسكتلندا، لاحظ بعض الطبقات الرقيقة من الصخر الطيني تحمل علامات تشبه الرموز الهيروغليفية تركتها الغرابتوليتات فيها. وكان ذلك نوعًا من الاكتشاف بحد ذاته، فالغالب في المرتفعات الجنوبية الاسكتلندية أنها مكونة من صخور رملية خشنة - بنحو 99% أو أكثر - وهي فقيرة بالأحافير إلى حدٍّ كبير.

لقد بدأ يهتم بالأمر. وكنت أود أن أعرف دوافعه الأولية. فهل كان يعي أن الجيولوجيين الأوائل في عصرنا كانوا يرون في المرتفعات الجنوبية الاسكتلندية مشكلة تستعصي عليهم؟ لأن الطبقات الأرضية في هذه البقعة - بعرض أكثر من 50 ميلًا - كانت تبدو لهم مصنوعة من وحدة سميكة واحدة مشوهة وغير

مفهومة. فقد وجدت فيها الغرابتوليتات، وذلك صحيح، لكن في شقوق متعاقبة بدت الغرابتوليتات هي نفسها، فعُدَّت كائناتٍ لم يظهر عليها التغير في الأزمان الجيولوجية - بخلاف الأحافير الأخرى. فظهر كأنها علقت في نوع من اعوجاج الزمن أثناء وجودها، ونُظِر إليها على أنها غير مؤهلة لوضع علامات للزمن.

لكن لابورث نظر نظرة أقرب. ويخطر لي أن ما شده في البداية ببساطة كان غرابة هذه الأحافير وتأنقها؛ فالنماذج الاسكتلندية محفوظة في بياض متألق على خلفية سوداء من الصخور (بخلاف نماذج ويلز باللونين الأسود والذهبي). ووسط مناظر اليابسة للكاتب ولتر سكوت، كان هواء الغموض السلتي (الكلتي) شديد الإغواء. فوضع لابورث خطة للقيام بحملة طاف فيها في نهاية الأمر 300 ميل مربع.

وفي هذه البقعة الشاسعة، كان يسعى وراء طبقات الغَضَار الصفحي السوداء التي تقطع أحيانًا بحرًا من الأحجار الرملية ويقوم بتحليلها بدقة. وقد وجد أنه في أي وحدة من الأحجار الطينية، كانت الغرابتوليتات غير متشابهة، لكن في كل متر أو مترين، كانت تتغير من مجموعة من نوع بيولوجي إلى أخرى (فقد كان يميز في الوقت نفسه: الزمن الأول لوجودها، وتسميتها)؛ وفي كل ما درسه ميز عشرة تجمعات مختلفة. بعضها كان في معظمه مكونًا من غرابتوليتات مستقيمة ذات نتوءات كسن المنشار على الجانبين؛ والأخريات كانت لها أشكال مميزة على هيئة الحرفين V وY؛ إلا أن هناك أخريات كانت تسودهن الغرابتوليتات المنحنية؛ مثل صنارة السمك المنمقة. إذن

فالغرابتوليتات لم تكن ثابتة على مر الزمن، بل كانت تتغير بمرور الزمن، وكان تغيرها سريعًا.

لكن على بعد بضعة أميال في البلاد كان هناك شقّ آخر من الغَضَار الأسود داخل هذه الأحجار الرملية التي لا تحصى، وأبعد من ذلك كان هناك آخر أيضًا. وعندما راجعها لابورث، رأى فيها التجمّعات المتعاقبة نفسها من الغرابتوليتات. فهل عادت هذه الأحافير وظهرت من جديد بالترتيب نفسه، مرةً بعد أخرى، في تلك البحار الاسكتلندية القديمة. على أسلوب فيلم عيد فأر الحقل[22]؟ وكان لدى العالم يواكيم باراند (Joachim Barrande) فرنسي المولد، بعد ذلك وبصورة مستقلة، ذلك الاعتقاد بعد استكشاف الغرابتوليتات في بوهيميا. لكن لابورث لم يوافق على ذلك، وقال إن الطبقة نفسها طويت مرة بعد مرة على مر أزمان متطاولة نتيجة تحركات هائلة للأرض؛ بحيث إن الطبقة الغَضَارية الواحدة، بالتعاقبات السريعة في تطور الغرابتوليتات، عادت فظهرت على السطح مرة بعد مرة بعد مرة. لقد كان لابورث في الجوهر على حق. فبضربة واحدة، قام بحل معضلة المرتفعات الجنوبية بإنقاص طبقاتها إلى سماكة ضئيلة، وجعل الغرابتوليتات علامات زمنية قيمة استثنائية.

واستمرت الغرابتوليتات في أن تكون مواقيت بيولوجية، تساعد الجيولوجيين في حل تعقيدات السلاسل الجبلية، وغرائب البحار المتوارية، والأنظمة المناخية القديمة. لكن الآن، جرى تفصيل نظام لابورث للتجمعات المتعاقبة؛ أو المناطق الأحفورية. فاليوم، وبدلًا من عشر شرائح زمنية، بات هناك أكثر من ستين شريحة زمنية، وكلٌّ منها بأمد أقل من مليون سنة في المتوسط - وهو تقدم

جيد عندما يكون على المرء النظر في الزمن الماضي إلى عالم عمره 500 مليون سنة.

إن الوصول إلى الزمن بدقة، يتطلب مراقبة البيولوجيا بدقة، بتمييز الأنواع البيولوجية كلٍّ على حدة. وبذلك، وبدلًا من حفنة من أنواع الغرابتوليتات التي وجدها لابورث، هناك اليوم آلاف منها في أرجاء العالم (ففي بريطانيا وحدها يوجد منها 697 نوعًا، في آخر الإحصاءات). كما أن الوصول إلى الزمن بدقة يتطلب فكرة واضحة جدًّا عن الزمن الذي نشأت فيه تلك الغرابتوليتات، والزمن الذي انقرضت فيه، وهي فكرة لا يمكن تثبيتها إلا بدق المطرقة بصبر وأناة في التعاقبات الصخرية المختلفة، وتسجيل وجود أو غياب كل نوع بيولوجي، في طبقة أرضية بعد أخرى، ومن ثم تشكّل كتابة تقارير سميكة عن ذلك البحث مع مخطّطات التغيّر البيانية مراجع قياسية لعلم الأحافير، وسيتصفّحها الباحثون جيدًا في بحثهم عن المطبوعات التي تعرِّف مثلًا عينة الحصاة، بعد أن تتكشف مكنوناتها تمامًا، ربما بعد صباحٍ من العمل المجهد بالإبرة.

وإذا كنت محظوظًا، فتلك العينة وحدها يمكن أن تكون كافية لتثبيت عمر الحصاة، بالنسبة لمنطقة غرابتوليتات بعينها - أي في نطاق مليون سنة أو أقل. وبعض الأنواع البيولوجية تجمع أمورًا مفرحة فهي مميزة بصورة واضحة، وكثيرة غزيرة، وقصيرة العمر، تظهر إلى الوجود لأمد وجيز - ربما لبضع مئات آلاف السنين - وتستغل كل مكان تقريبًا، ثم تختفي (ربما مثل النوع البشري، إذا صدقت التكهنات القاتمة بشأن مستقبلنا). وقد تكون نوعًا بيولوجيًّا عاش لأمد طويل، ربما يمتد في ثلاثة نطاقات

أَحفورية. حسنًا، ذلك ليس بالأمر السيئ جدًّا: فهو أفضل من أن تمتد على ستة نطاقات، كحال بعض الأنواع المستمرة طويلًا. أو بعد كل ذلك العمل، قد لا يكون لديك عينة كاملة، بل لديك كسرة من كسرات العينات تنقصها الأجزاء الحاسمة من الغرابتوليتات المهمة للتصنيف البيولوجي. حسنًا، يمكن أن يكون هناك بقعة ذهبية وسوداء أخرى على الجانب الآخر من الحصاة يمكن التنقيب فيه. وإذا استثمر المرء ساعة أخرى أو ساعتين في حفر حفرة فيه، فلعله يظفر بنتيجة أفضل. أو بإمكان المرء أن يستدعي زملاءك المتخصصين في الأكريتاركات والكيتينيات ليبدؤوا العمل بالأحماض القوية والمناخل الناعمة، وكدساتهم الثقيلة من تقارير الأبحاث.

وفي معرض الحيوانات المنقرضة في حصاتنا، ستكون هناك طريقة لانتزاع سرّها الخاص الذي يكشف الزمن. وقد نواجه بعض العقبات (فالأكريتاركات، على سبيل المثال، قاسية جدًّا بحيث إنها يمكن أن تتحاتَّ من صخرة لتظهر في أخرى، فتكون علامات زمنية مضللة). ومع ذلك، ستمكّننا الأحافير من وضع معرض الحيوانات المنقرضة ذاك في مكانه الصحيح في سلالات الحياة الحادثة في هذا الكوكب. وذلك أمر بديع - لكن على المرء أن يتذكر أن الأحافير ليست كل أشكال الحياة في ذلك الزمان. فهي ليست إلا صدًى لها، وحولها كانت هناك حياة أكثر غنًى بكثير، وعلينا أن ننتبه لجوانب الغنى المحتملة تلك، وكيف يمكننا أن نكشف مكنونها، إذا كان لنا أي فرصة لحل أسرارها في المستقبل.



# الأشباح الغائبة

آلات طرية

من الكتب التي غيرت من فهمي للعالَم «البحر المفتوح، الجزء الأول» (*The Open Sea. Part 1*) للبيولوجي البحري السير أَلِستر هاردي (Alister Hardy). فقد خطط لتأليف كتاب عن البحر، لكنه وجد أن هناك الكثير مما يقوله عن عالَم العوالق، فاستغرق عالَمُ العوالق الكتابَ بأكمله (وكتب بعد ذلك كتابًا آخر عن سائر أحياء البحر). وقد مضى على تأليف ذلك الكتاب نحو نصف قرن، وما زال هذا العالَم الخفي يوصف بصورة رائعة بكلمات هاردي، وصوره القديمة باللونين الأبيض والأسود، وما رسمه من خطوط وأشكال.

وإذا نظرنا إلى ذلك من وجهة نظر عالِم الأحافير، فذلك الكتاب كان فتحًا للأبصار. لقد كنت أدرك أنه في طبقات الصخور، لا يجد المرء عادة إلا بقايا من أشكال الحياة التي كانت لها أجزاء قاسية وأصبحت أحفورية. كالعظام، والأسنان، والأصداف - وفي حالة الأركيتاركات، والكيتينيات، والغرابتوليتات، كانت أحافيرها هي أغلفتها ومنازلها العضوية القاسية. وكنت أعلم أن هناك كائنات أخرى طرية الجسم موجودة في ذلك العهد طبعًا، لكن للأسف لا تترك تلك الكائنات سجلات كثيرة يكشفها مسبر الجيولوجي. لذلك فإن ما وجدته من وفرة وتنوع واسع في عالَم

العوالق، مما يتكشف في تلك الصفحات، أصابني بالدهشة. فبقايا بعض تلك الحياة، الموجودة في الحصاة، تستلقي في مكان ما في الكربون الأسود غير المتبلور الذي يعطي لهذه الأجسام لونها الأسود؛ وفي بعض الإشارات الكيميائية الدقيقة الموجودة في الصخرة نفسها. فأجزاء من البحر السيلوري المتواري بدأ يكشف عنها من هذه المادة التي تبدو عديمة الجدوى، فتظهر منها القصص - وهي قصص مجزأة، ومبهمة، ومثيرة - وأحيانًا لها استخدامات مدهشة.

فكما فعل العالِم العامل هاردي، قم بربط شبكة ذات خيوط ناعمة خلف سفينة لتسحبها لبضع دقائق، ثم افحص مكوناتها بالمجهر، وسيتكشف لك جزء صغير من هذا العالم - بما يكفي لإظهار تنوعه الذي لا تحده حدود تقريبًا. فهناك نباتات مجهرية، وهي قاعدة الهرم الغذائي: فعلى سبيل المثال، ستجد المشطورات، وهي طحالب وحيدة الخلية لها هيكل من السليكا يبدو كأنه صندوق قبعات منمق صغير جدًّا، وحاملات الكوكولِث، وهي طحالب أصغر حتى من تلك ولها هيكل غريب من كربونات الكالسيوم مكون من أقراص متراكبة تشبه الصدفات، وكذلك هناك السوطيات (dinoflagellates). إنها كائنات موجودة بوفرة، وذات أهمية بالغة اليوم، إلا أنها لم تظهر في العصر السيلوري (ونعلم ذلك من أنها تبني هياكلها)، فلا بد أن كائنات أخرى تولت دورها الإيكولوجي، ونظنها الأكريتاركات، إلى جانب طحالب خضراء أخرى مجهولة.

إلا أن ما يلفت الانتباه هو الحيوانات المجهرية. فهناك منها حيوانات وحيدة الخلية، مثل الشعاعيات: وهي كائنات تشبه الأميبا

تفرز هيكلًا معقدًا من السليكا. ونعلم أن هذه الكائنات كانت موجودة في العصر السيلوري أو حتى قبله، لأننا يمكن أن نراها في بعض الصخور مثل الأحجار الكلسية والصوَّان، كما نرى بقايا رَزَغات السليكا في أعماق البحر. وقد يخال المرء أن هناك بقايًا منبضعة من هذه الكائنات في الحصاة، لكن من المستحيل (حتى الآن) فصلها عن صخر الحصاة، فالأحماض الضعيفة التي يمكن أن تحررها من محبسها، كما في الحجر الكلسي مثلًا، ليس لها تأثير في حصاتنا، أما الأحماض القوية فستحل الصخر والشعاعيات معًا. لذا فإن علينا أن ننتظر شخصًا ما يقوم بتطوير تقنية بارعة إظهارها، وبذلك يتكشف وجه آخر من وجوه هذا البحر السيلوري.

ثم هناك الكائنات التي هي اليوم ببساطة ذرات كربون، تحللت، ثم اجتمعت من جديد في أنسجة كائنات أخرى (منها حيوانات الكيتينيات والغرابتوليتات)، ثم تحولت إلى ثلج بحري، ثم خضعت للتحول مرة أخرى في بُسُط الميكروبات العميقة والصامدة في قاع البحر الراكد ذاك. فما الذي يمكن أنه كان موجودًا هناك؟ تُظهر أرض العجائب عند هاردي موكبًا من القشريات الصغيرة جدًّا، ذات الهيكل الخارجي، نعم إنها ذات هيكل خارج جسمها، لكنه رقيق جدًّا ومرهف جدًّا بحيث لم ينج أي منها من مطحنة إعادة تدوير الكائنات في البحر: إنها من اليوفسيدات (الكريليات) والنوبليدات، ومجدافيات الأرجل ويرقات القشريات التي تسكن القاع. ثم هناك الكائنات التي تكون بأكملها هلامية أو شفافة تقريبًا، من المشطيات و الديدان السهمية والهلاميات البرميلية؛ وقناديل البحر، التي تنمو فتصِل إلى أحجام عملاقة بالمقارنة بتلك، وربما كانت أكبرَ الكائنات في تلك البحار. وهناك الرخويات السابحة،

ومجنحات الأرجل ذات الأصداف المرهفة، وفراشات البحر، التي من المؤسف أنها من الكائنات الأكثر تضررًا بما أصاب البحر من زيادة في الأحماض تسبب بها الإنسان.

إذن فما المكان الذي يمكن أن تكون قد عاشت فيه كائنات الغرابتوليتات والكيتينيات وسط هذه الوفرة من أشكال الحياة؟ إن الغرابتوليتات في هذه الصخور هي الأحافير الأكثر وضوحًا حتى الآن، إلى حد أن الطبقة التي تغطيها تدعى طبقة الطُّفال (الطين الصفحي) الغرابتوليتي. وفي عمليات إعادة البناء تبين أنها كانت المهيمنة في البحار المفتوحة - لكن هل كانت تؤلف غالبية من المفترسات العليا؟ أم ربما كانت تؤلف 10% فقط أو نحو ذلك من ذلك البحر؟ أم أنها تشكل أقل من 1% من العوالق الأكبر، وتظهر لنا كبيرة فقط في سجلات الأحافير لأن مقرات سكناها المقاوِمة بقيت في الطبقات الصخرية، أما دروع ومجسات الكائنات المنافسة لها والأرقى منها فلم يبق منها شيء؟

أظن أن الأمر أقرب إلى أن يكون الافتراض الأخير، لأسباب ليس أقلها أنه إذا كانت الغرابتوليتات المستهلك الرئيس للكائنات المنتِجة الأولية، من طحالب العوالق وحيدة الخلية وما أشبهها، فيمكن لنا أن نتوقّع أن بقاياها عمليًّا تكوِّن شيئًا من صخور أعماق البحر هذه: لا بد أنها تشكل نوعًا من الفحم الغرابتوليتي (بعد أن قدَّمت مجنحات الأرجل لظهور الزرغات مجنحة الأرجل اليوم، فإن الرسوبيات تشكل عمليًّا كامل بقاياها) - لكن الغرابتوليتات لم تشكل مطلقًا مثل تلك الصخور. ولا تنس أن ذلك يعني تجاهل ما حدث للغرابتوليتات بعد موت مستعمراتها. فهل كان مصير معظمها أو جميعها أن تسقط في قاع البحر بعد موتها وبذلك

حُفِظت، نظرًا لقساوتها وما يفترض نتيجة ذلك من عدم إمكانية التهام مساكنها ذات الجُذُر العضوية؟ يمكن أن يشير ذلك إلى أن ما نراه من غرابتوليتات محفوظة كانت غالبًا، ولهذا السبب، نادرة بين عوالق العصر السيلوري. أو هل كانت هناك قمَّامات داخل العمود المائي قادرة على إعادة تدوير مساكن الغرابتوليتات غير الصالحة للأكل فيما يبدو، بحيث أن جزءًا منها فقط سقط إلى قاع البحر ليجد طريقه إلى سجلات الأحافير؟ إن ذلك سيمكِّننا من توقع وجود ساكنين كثيرين آخرين في هذه المستعمرات.

ذلك واحد من الشكوك الكثيرة التي تحيط بعملنا الذي يحاول أن يمعن النظر في الماضي. كما أن هناك كائنات أخرى، وهي محمولة أيضًا على مقارنات بطبيعة العوالق اليوم. فعلى سبيل المثال، حيوانات العوالق اليوم لا تقوم ببساطة بالطفو أو الانزلاق على سطح الماء بلا هدف، تنتظر أن يصل غداؤها إليها. بل هي في كل يوم، كما كان واضحًا حتى في أيام هاردي، تقوم في غالبيتها بهجرات عمودية منسقة، سابحةً مسافات تصل إلى 100 متر حتى تصل إلى سطح الماء في الليل، ثم تعود أدراجها إلى المياه العميقة في النهار. وبالنسبة لكائنات حجمها لا يتجاوز بضعة مليمترات، تعد هذه المسافات مسافات شاسعة بالنسبة لها. فلماذا تقوم بهذه الرحلة؟ أحد التفسيرات يفترض أن سطح الماء المشمس يشكل خطرًا عليها في النهار، حيث يسهل على مفترسيها رؤيتها. فهل كان ذلك صحيحًا أيضًا في العصر السيلوري، عندما كانت الأسماك والحيتان وأسماك الحبَّار والسَّبِيدَج غير موجودة بعد، أو إنْ كانت موجودة فهي إنما تلاصق الشواطئ، ولم تغز بعد المحيطات المفتوحة. ولا يمكن للمرء أن يفصل في ذلك الأمر- حتى اليوم.

إلا أن بعض المفترسات ذات المطامح الكبيرة (في تلك الأيام) كانت تتخفى بين العوالق. فأحيانًا وجدت الغرابتوليتات مطويةً بعناية وأناقة في شكل يشبه شكل دبوس الورق، وأحيانًا تكون متغضنة في شكل كرة. فمن الواضح أنها التُهِمت. لكن ما هي الكائنات التي أكلتها؟ إن المفترس ما زال مجهولًا؛ مع أن عاداته في الطعام معروفة. فبالإضافة إلى موهبته في طي فريسته، كانت له عادات أنيقة في الطعام: فلم يكن يلجأ إلى التمزيق، ولا إلى النهش، ولا إلى العض، ولا إلى المضغ. وهذه العادات المترفعة في تناول الطعام من غير المرجح أنها كانت لتنفع المستعمرة المسكينة، التي لعل أجزاءها الطرية كانت تهضم بأكملها.

والراجح الغالب أن حصاتنا ليس فيها مستعمرة جرى افتراسها، فالأمثلة على ذلك نادرة. لكن لعلها تحمل فقط دليلًا على احتمالات الهجرة العمودية اليومية لعوالق العصر السيلوري. ففي محيطات اليوم، الغنية بأكملها تقريبًا بالأكسجين، لا يوجد حاجز جوهري يمنع حركة العوالق إلى الأعلى والأسفل. إلا أن البحار المُعوْزَة للأكسجين جزئيًّا في العصر السيلوري، ربما كان فيها عائق للحركة العمودية للعوالق. وتعتمد درجة الإعاقة تلك على إنْ كان الظمأ إلى الأكسجين يمتد في معظم العمود المائي؛ حتى الطبقات السطحية المشمسة (وبذلك يضغط مساحة العيش للعوالق)؛ أو أنه كان يقتصر غالبًا على المياه التي في الأسفل، فوق قاع البحر مباشرة.

وربما ترك أحد كائنات العوالق إشارات تدلنا على أي من هذين الاحتمالين صائب. فهناك اليوم نوع من البكتيريا الخضراء (أي ذات التركيب الضوئي) التي من اللافت أيضًا أنها تعيش في المياه

المعوزة للأكسجين - وهي بكتيريا تستقلب الكبريت ولا تطيق الأكسجين الحر (وتعرف اصطلاحًا باسم البكتيريا اللاهوائية المجبَرة). فهي تنتج مادة كيميائية فريدة لها الاسم العجيب إيزورينيراتين. فتلك هي مادتها في التركيب الضوئي، إنها مركب عضوي معقد طويل السلسلة له قوًى لافتة للبقاء بنفسه، ويمكن استخراجه من صخور عمرها مئات ملايين السنين عن طريق تحليل كيميائي بالغ الدقة. إلا أنه غير موجود في الطبقات الصخرية في ويلز التي جاءت منها حصاتنا. لكن لعل ذلك يكون في وقت قريب، فقد جرى عزل الإيزورينيراتين من الطبقات الصخرية من العصر السيلوري في شمال إفريقيا، فتبين أن عوز الأكسجين في المياه العميقة كان يمتد إلى المستويات العليا من الماء، وصولًا إلى مستويات قريبة جدًّا من سطح البحر.

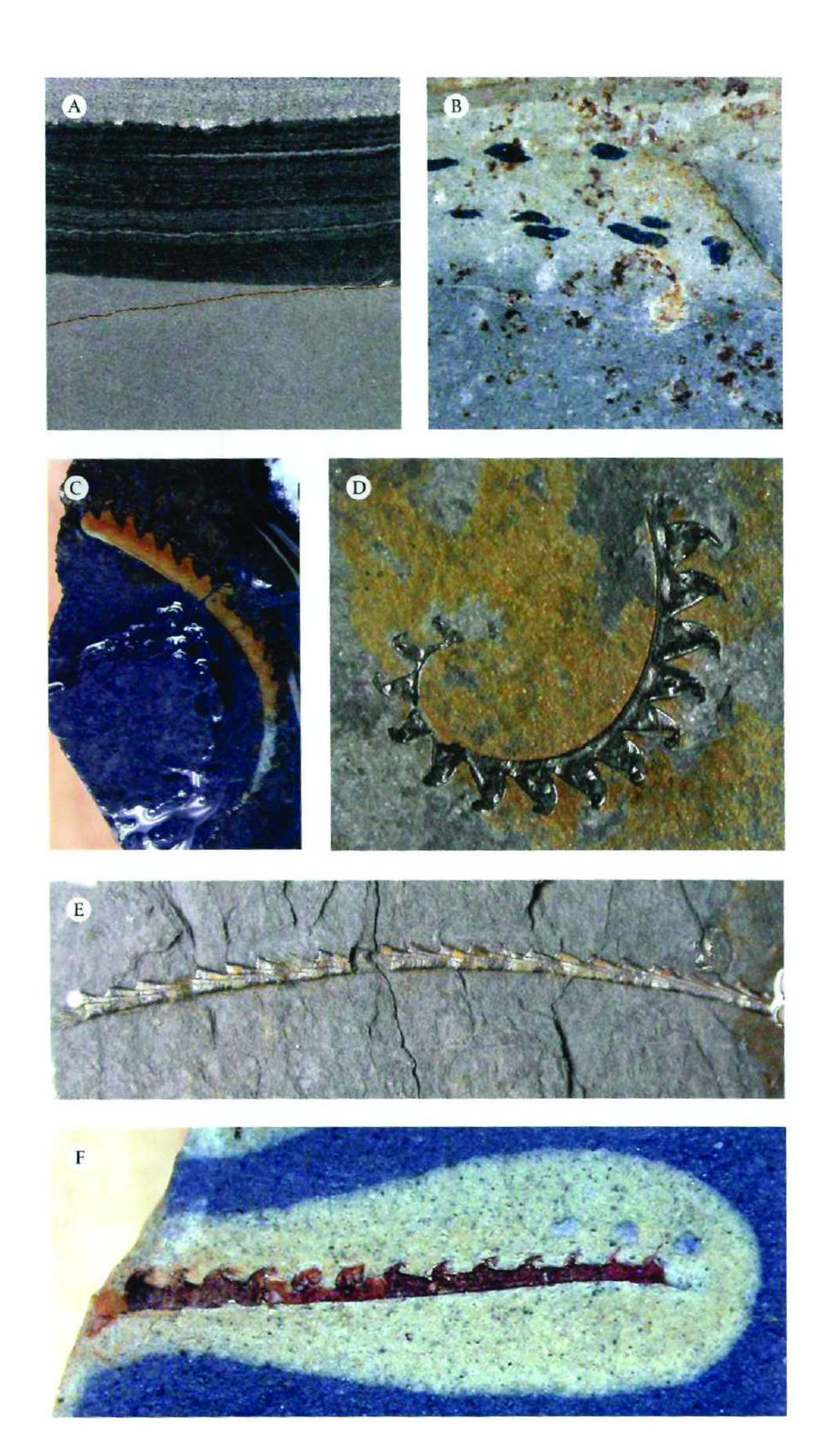
ربما كانت تلك المياه غير المضيافة مكانًا مناسبًا لإقامة الغرابتوليتات. فبما أنها كائنات جافية مراوغة، فلعلها مرت بأوقات عصيبة في مياه البحر العادية، حيث تعيش كائنات أقل تعقيدًا لكنها أكثر حركة (وهي بالنسبة لنا غير مرئية) من القشريات والديدان السهمية وقناديل البحر، وهذه الكائنات ربما نافستها فتفوقت عليها تمامًا. ومن المؤكد أن الغرابتوليتات الأحفورية نادرة في الطبقات الصخرية الموجودة في مياه البحر الضحلة القريبة من الشاطئ. ومن المفترض جدًّا أنها تكيفت مع ظروف نقص الأكسجين في البحار العميقة، حيث كانت العوالق الأخرى لا تنطلق إلى المخاطرة بالدخول فيها؛ وهذه طبعًا لم تكن مياهًا خالية من الأكسجين تمامًا، فربما كانت هذه المستعمرات التي تبني مساكنها تقف على الحد الفاصل بين الاختناق وبين الحصول على الطعام. إن تاريخ عوالق الغرابتوليتات مر بأيام

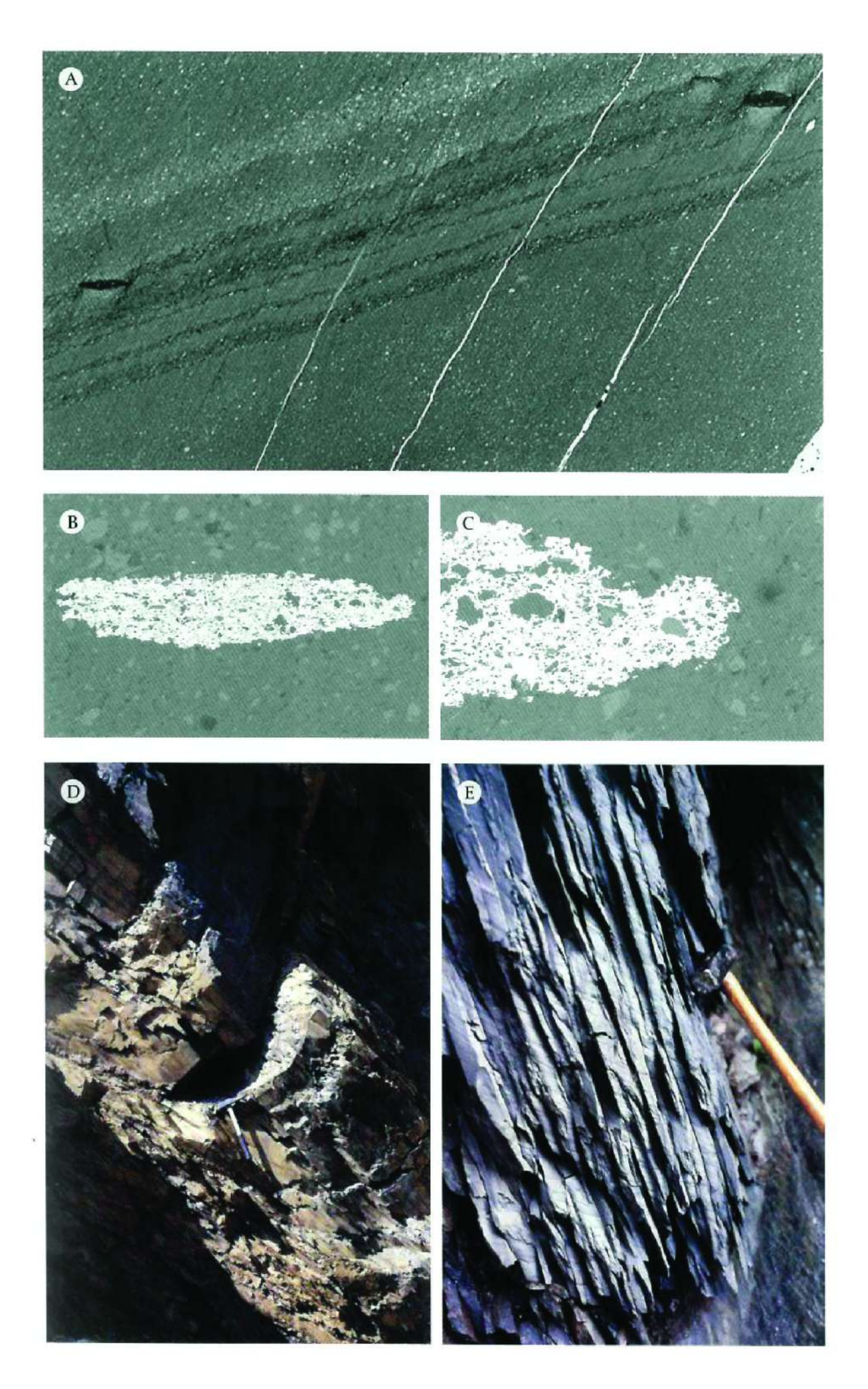
ازدهار وأيام اضمحلال (وكان الاضمحلال يتزامن غالبًا مع فترات زيادة الأكسجين في المحيطات) لذا فربما كان هناك شيء من الصحة في فكرة أنها كانت تجازف متشبثة بحبل إيكلولوجي - حبلٍ سقطت عنه أخيرًا في أواسط العصر الديفوني، بعد نحو 50 مليون سنة من ترسب الطبقة الصخرية لحصاتنا؛ ولم تعد إليه أبدًا.

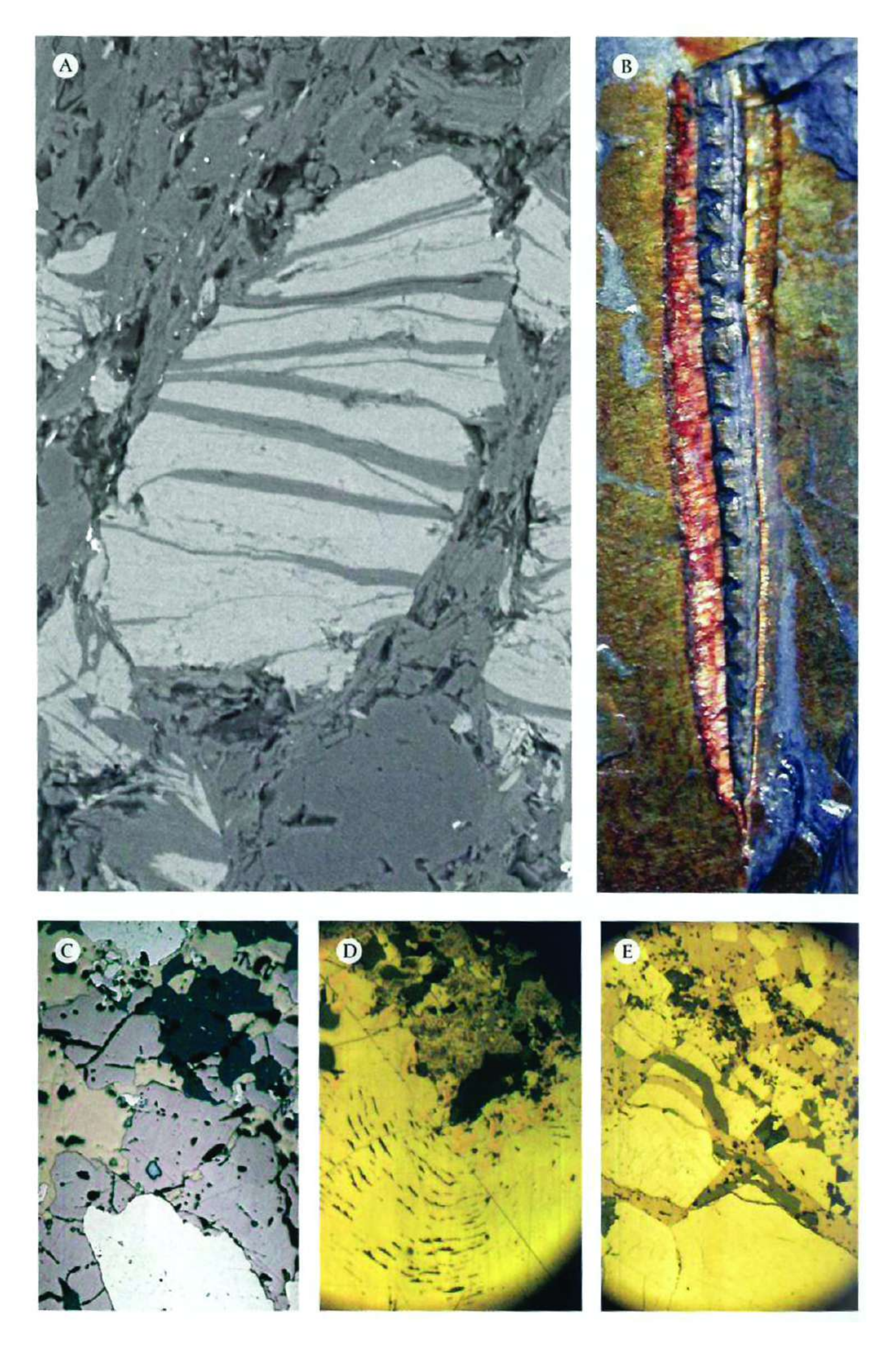
لا تزال هناك أبعاد محتملة أخرى، وهو ما تكشفه دراسة العوالق الحديثة. فهل كانت مستعمرات الغرابتوليت خضراء - وكذلك الكيتينيات؟ الكثير من كائنات البحر اليوم هي حيوانات في جزء منها، وحديقة مصونة بعناية في جزئها الآخر، فهي تحتوي داخل أجسامها طحالب خضراء وحيدة الخلية. وتحظى الطحالب بمأواها من هذا التنظيم، وتتغذى على نواتج مهملات الحيوانات؛ وتحصل الحيوانات

A




A
B
C
D
E
F


A
B
C
D
E


A
B
C
D
E

على إمداد أكبر بالأكسجين، كما تأخذ حصة من الكربوهيدرات التي تصنعها الطحالب. فالمرجانيات التي تشكل الشعاب وتقيم في الأسفل تشترك أيضًا في هذه التحالفات بين الممالك. وهذا التنظيم التكافلي أمر حاسم جدًّا بالنسبة لها، وإذا أصبحت الظروف مزعجة جدًّا للطحالب (مثال ذلك أن تصبح المياه دافئة جدًّا)، فتفرقت عن بعضها بعضًا، فإن ذلك يؤدي إلى «ابيضاض» المرجان (حيث يفقد لونه)، وعادة ما يموت بعد ذلك.

وما زال من غير الممكن التثبت من كون الغرابتوليتات وعوالق العصر السيلوري الأخرى قد شكلت روابط تكافلية مع الطحالب. لكن ذلك لا يعني أن تلك مسألة صعبة. فهي ليست صعبة، كما قد يصورها سياسي سيئ الصيت، بأنها أمر مجهول لا سبيل إلى معرفته. فتلك الطحالب تؤثر اليوم كثيرًا في حيوان مضياف (غالبًا لتجعله أفضل) بحيث إن هناك بعض الإشارات التي يمكننا تتبعها، من المواد الكيميائية أو البنية الجزيئية للغرابتوليتات المحفوظة برقة. أو ربما (بصورة أكثر تعقيدًا) في نمذجة نمو الغرابتوليتات - خاصة للنظر في كيفية تدبرها أمر التحويل الكبير لمواردها لتبني مقرات معيشتها النفيسة بالغة الحيوية، الكبيرة والمتينة. فهل الطحالب المتكافلة هي التي جعلت ذلك ممكنًا؟ تعد هذه الفكرة حاليًّا حَدْسًا وحسب (وقد يقول بعض الناس إنه حدس غريب) ولا تستحق (تمامًا) الالتفات إليها: لكنها ستصبح أمرًا علميًّا إذا وُجدت طريقة تقدم دليلًا ما، يُثبِتها أو ينقضها، وذلك هو الجزء المثير - والمثبط - في تتبع هذا الأمر برمَّته.

وربما كانت الغرابتوليتات والكيتينيات كائنات خضراء وربما لم تكن خضراء - لكن لا بد أنها مرت بفترات اعتلال من وقت إلى

آخر، أو حتى قضت عليها الأوبئة (مثل كثير من الأنواع البرمائية اليوم، تقع ضحية العداوى الفطرية لأسباب مجهولة، لكن ربما تفاقمت فيها تلك العداوى من جراء عوامل مرتبطة بالاحتباس الحراري والتلوث الصناعي). وهذا أمر يصعب جدًّا معرفته من السجلات التي تتركها الأحافير، فالكثير من العداوى لا تترك أثرًا خلفها. إلا أن بعض الطفيليات يمكن أن تترك علامات لها أكثر وضوحًا. فقد وجدت أمثلة على الغرابتوليتات التي تعلوها بثور كبيرة، ومن الواضح أنها كانت طفيليات ربطت نفسها بها، وقامت أفراد الغرابتوليتات بعد ذلك بأفضل ما تتقنه «بلصقها» فوق أجسامها - بكل معنى الكلمة -لتحيطها بجدارها. ويبدو أن ذلك الرد كان ناجحًا، لكن لدرجة معينة (ظلّت مستعمرات الغرابتوليتات على قيد الحياة مدّة من الزمن على أي حال). إن بناء المستعمرات غالبًا ما يتشوه بصورة لافتة بعد دخول الطفيليات، وهذا أمر مفهوم - فهل يمكنك أن تتصوّر أنك تقوم ببناء فِناء مرصوف متقن، وهناك لصٌّ يركب ظهرك، ويضربك على رأسك بهراوة، طالبًا منك أن تعطيه نقودك؟

ومهما كان المرض البسيط الذي كان له دور في حياة وموت عوالق الحصاة، فمن المدهش أنه فقط في السنوات القليلة الماضية اكتشف العلماء غنى محيطات اليوم بالبكتيريا والفيروسات. ففي الأيام التي كانت تدرس فيها البكتيريا والفيروسات بصورة رئيسة، بالاستنبات في أطباق مسطحة بعض الشيء، وباختبارات مجهرية، كانت بضعة آلاف من الأنواع الميكروبية قد عزلت بدقة وعناء، وجرت تسميتها. ثم جاء التقدم التكنولوجي الكبير في ترتيب الجينات الآلي، وظهرت ملايين من الأنواع البكتيرية، من بضعة لترات فقط من ماء البحر القياسي، فغيرت في الحال

نظرتنا للتنوع الميكروبي في المحيطات تغييرًا جذريًّا (وحتى فهمنا له أيضًا). وإذا كانت البكتيريا تعد اليوم كائنات ذات تنوع غير محدود تقريبًا، فإنه يقابل كل ميكروب عشرة فيروسات في المحيطات، تنقض باستمرار على هذه الميكروبات، وعلى كائنات أخرى أيضًا. ووسط ذلك، تحكم هذه الكائنات العالم البيولوجي والكيميائي للمحيطات، مع أن الكثير من تفاصيل هذا التحكّم ما زالت غامضة لنا.

وهي حتمًا داخلة في صميم التحكم بالبيئة البحرية لمواد حصاتنا أيضًا، لكن الحصول على دليل علمي على تلك الحقيقة المحورية ربما سيحتاج عقودًا أخرى (على الأقل) من المستقبل. وبما أن العلوم هي فن الممكن، فلا يستطيع المرء المضي إلى ما هو أبعد مما يقدر عليه، ليرى الصورة الكبيرة، عندما تكشف القصص والأنماط المخبأة نفسها في تقدم الحياة على الأرض في العصر السيلوري.

## رسائل كيميائية

ما المجموع الكلي للحياة، للكائنات الحية في المحيطات، مما خرج من بقعة معينة من قاع بحر ويلز القديم، بعرض بضعة سنتيمترات مربعة، وأصبح بعد وقت طويل حصاتنا؟ هذا سؤال عظيم وتجريدي إلى حدٍّ كبير. لكن العلامات المحتملة موجودة هناك، حتى داخل مادة الحصاة نفسها. ومعاني تلك العلامات ما زالت مبهمة، إلا أنه من السهل الوصول إلى الدليل تقنيًّا اليوم،

فهذا الدليل حاليًّا يجري جمعه ودراسته من قبل العلماء في أرجاء العالم، على أمل إلقاء الضوء على جانب آخر من العالَم السيلوري. فالعلوم التي هي فن الممكن، تعمل اليوم، وسوف تستقصي هنا طبيعة المكونات الداكنة الغنية بالكربون في الحصاة.

ويوجد الكربون بصيغتين مستقرتين، النظير الخفيف: الكربون 12، وله ستة نيوترونات وستة بروتونات في نواته، والنظير الثقيل: الكربون 13، وله سبعة نيوترونات وستة بروتونات في نواته. ولهذين النظيرين الخصائص الكيميائية نفسها، لكن نظرًا إلى اختلاف كتلتيهما، فغالبًا ما يجري فصلهما بتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. فعلى سبيل المثال، تمتص العوالق ذات التمثيل الضوئي النظيرين كليهما -لكنها تبدي انحيازها إلى الكربون 12، وستفضل امتصاص كمية أكبر من هذا النظير الخفيف في بناء أجسامها- وبالتالي سيبقى الكربون 13 الأثقل في البيئة من حولها بكميات أكبر بقليل من الكربون 12.

والآن، وعندما تأتي سنوات الرخاء، فإن كميات كبيرة من العوالق ستحيا وتموت. فإذا سقطت بعد موتها إلى قاع البحر فإنها ستدفَن برسوبيات قاع البحر، آخذةً معها الكمية الزائدة من الكربون الخفيف، وستغتني مياه البحر من فوقها بالنظير الثقيل للكربون. والأجيال اللاحقة من العوالق ستستمر في فصل النظير الخفيف، لكن بسبب وجود كميات أقل منه في البيئة المحيطة إجمالًا فإن هذه العوالق اللاحقة ستحتوي كميات أكبر من الكربون الثقيل من سابقاتها. وبذلك فعندما تسقط هذه أيضًا إلى قاع البحر وتدفَن، فإن الطبقة الصخرية التي تحتضنها سيكون فيها نسبة أكبر من ذرات

الكربون الخفيف من مياه البحر التي تعلوها - لكنها نسبة أصغر من تلك التي في الطبقة أسفل منها من طين قاع البحر.

إنها عملية تعديل ذرية كبيرة يمكن أن تحدث على مستوى الأرض بالفعل. فإذا استمرت الحياة بالازدهار لفترة طويلة حياةً رخيةً، ثم دفنت، فإن توازن نظائر الكربون بمجمله في العالم يمكن أن يتغير. ويمكن اليوم رصد هذا النوع من التغير، وبصورة منتظمة، عن طريق آلات عدِّ الذرات الحديثة. ولا يتطلب الأمر أكثر من بضعة غرامات من الصخور الطينية التي تحتوي الكربون، وهكذا فإن جزءًا صغيرًا من الحصاة سيفي بالغرض. نأخذ ذلك الجزء فنسحقه، ثم نعرضه للحرارة العالية مدة قصيرة فيتحوّل إلى بلازما؛ ومن ثم تدور الشوارد في البلازما حول مسار منحنٍ، داخل حقل مغناطيسي. ويكون انحراف الشوارد الخفيفة أقل تأثرًا بذلك الحقل المغناطيسي من الشوارد الثقيلة، وبذلك تنفصل الأوزان الذرية المختلفة عن بعضها بعضًا قبل أن تصطدم الشوارد بقوة بكواشف موضوعة بعناية، تقوم بعدِّ الصدمات التي تصيبها من كل نوع (أي من كل فئة وزنية) من الشوارد. وهذا يعطي بدقة ووضوح نسبة الكربون الخفيف إلى الكربون الثقيل في العينة المأخوذة من الحصاة. والآن، ووفقًا لما يعنيه ذلك - فإن الأمر يتطلب إمعان التفكير فيه بصورة أكبر. فلا أهمية لذلك الرقم إلا في السياق التالي: وهو أنه رقم نسبي لنسب نظائر الكربون في الطبقات الصخرية التي أعلاها وأسفلها. وبذلك على المرء أن يستنتج بدقة من أي مستوًى في تتابع الطبقات الصخرية في ويلز جاءت الحصاة - أي كم هو عمرها. وإذا جمع المرء كل الأدلة من الأركيتاركات، والكيتينيات، والغرابتوليتيات - ونظائر الكربون -

من حصاة واحدة، فسيكون أمامه فرصة صعبة للقيام بذلك، حتى لو ضحى بمعظم الحصاة أو بها كلها.

وفي الحالة المثالية، ينبغي أن يُظهر نمط نظائر الكربون عبر تتابع الطبقات الصخرية نمطًا يبين بعض الأحداث البيئية الكبيرة (من قبيل الازدهار أو ما يتعلق بالحياة) نمطًا يتكرر في تتابع آخر للطبقات الصخرية التي لها العمر نفسه في مكان آخر من العالم. لكن الأمر لا يكون دائمًا على هذا النحو، فمن الواضح أن بعض حوادث الماضي الجيولوجي تتميز بتغيرات كبيرة في التركيب العالمي لنظائر الكربون؛ وقد اصطلح عليها باسم «رحلات» النظائر، ويبدو أنها تكشف اضطرابات بيئية كبيرة. فعلى سبيل المثال، كانت هناك رحلة من هذه الرحلات قبل بدء العصر السيلوري، صاحبت الزيادة المفاجئة الشديدة والقصيرة في الغطاء الجليدي مما أدى إلى خراب كبير جدًّا في الحياة البحرية. وفي أثناء تلك الفترة، كان الكربون في الطبقات الصخرية في أنحاء العالم قد أصبح تدريجيًّا غنيًّا بالكربون 13 بصورة لافتة. فهل يظهر هذا ازدهارًا في الحياة ومن ثم دفنًا لها، بالصورة التي وصفناها آنفًا؟ ربما لم يكن الأمر على هذه الوتيرة، فهناك طرق أخرى لخلط نظائر الكربون. فعلى سبيل المثال، تحتوي الأحجار الكلسية عادةً على كميات أكبر بصورة واضحة من نظير الكربون الثقيل، مما تحتويه المواد العضوية الموجودة في الصخور الطينية. ولذا، فإنك إذا أخذت حجرًا من الأحجار الكلسية وقمت بحله في محيطات العالم - وهو أمر ممكن مثلًا عندما ينخفض مستوى البحر وتنكشف الشعاب المرجانية وتتآكل - فإن هذه المحيطات، والطبقات الصخرية المتشكلة أسفلها، ستحتوي كميات أكبر من الكربون الثقيل.

لذلك فعندما نتفحّص من خلال مَوْشور الأنواع المختلفة لذرّة الكربون فسنرى به منظورًا جانبيًا وملتبسًا لعالم الماضي. لكن من المحتمل أيضًا أن تكون هذه الصورة ثرية بالرؤى. فمع تولد بيانات أكثر وأكثر بفضل أجهزة مطياف الكتلة الرائعة، فإن صورة إعادة التوزيع العالمية الهائلة هذه، والأسباب الكامنة وراءها، ستصبح أكثر وضوحًا - على ما نأمله.

وربما كانت هناك معلومات أخرى يمكن كشفها من أنماط الكربون، حتى من داخل الحصاة نفسها. ففي محيطات اليوم هناك اختلافات في نسبة نظائر الكربون بين المفترس والفريسة. والعبارة البارزة هنا هي «أنت ما تأكل» - بالإضافة إلى جزء بالألف، وهو ما يعني أن ما تبقى داخلك من الطعام الذي تأكله اغتنى بنظير الكربون الثقيل مقارنة بما أكلته، بنحو جزء بالألف. وللمرء أن يتوقع علاقات مشابهة بين الغرابتوليتات (وهي المفترسات) وما يمكن أن نخَالَه فرائسها: ولعلها الأركيتاركات. ومع تطور آلات عد الذرات وتحسينها لتحلل أصغر كمية على الإطلاق من المادة، بسرعة لم يسبق الوصول إليها، وبتكلفة أقل من أي وقت مضى، فإنه يصبح من الممكن عمليًّا فصل أجزاء صغيرة جدًّا من الأحافير المختلفة من صخرة ما وتحليلها. فلنرتقب الوصول إلى هذا المدى.

وفي المحيطات الحديثة أيضًا هناك اختلافات في النظائر، مثلًا بين الأجزاء الضحلة والأجزاء العميقة من العمود المائي. فإذا كان ذلك صحيحًا أيضًا في محيطات العصر السيلوري، فهل يمكن أن تفيدنا هذه الاختلافات؟ حسنًا، إن إحدى المشكلات الباقية اليوم بشأن إيكولوجيا الغرابتوليتات هي معرفة إنْ كانت الأنواع

المختلفة من الغرابتوليتات قد عاشت في أعماق مختلفة، فبعضها ربما عاش قرب سطح البحر، وأنواع أخرى ربما عاشت في أعماق أسفل ذلك، أكثر عمقًا. وقد أخذ بهذا الاحتمال فترة طويلة - ومثال ذلك أننا نرى بعض الغرابتوليتات مبنية بصورة متينة جدًّا (ولعلها صمدت في وجه الأمواج العاتية)، وبعضها الآخر بناؤه ضئيل ومرهف. والمشكلة هي أنه حالما تحط الغرابتوليتات على قاع المحيط، فليس ثمة بينة تدلنا على العمق الذي كانت تحيا فيه. وربما إذا أمكن النظر إلى الأنواع المختلفة من الغرابتوليتات على أن لها نسبًا مختلفة من نظائر الكربون، فلعل ذلك يساعد في تسليط الضوء على ذلك اللغز الدقيق. ربما كان ذلك. فبوسع النظائر في الجيولوجيا أن تمدنا بصور رائعة للماضي - وكذلك بوسعها أن تخيل لنا سرابات للماضي. فيجب التعامل معها بحرص. والحيلة في ذلك، كما هي دائمًا، هي بطرح السؤال المناسب، ومعالجته بطرق التحليل المناسبة، والنظر إلى الجواب الناتج بما يستحقه من الشك. إنه عمل متدرج؛ خطوةً في إثر أخرى.

ومع ذلك، فلعل هناك تقسيمًا لطيفًا ينبع من أشكال الحياة الأحفورية في الحصاة، المعروفة منها والمجهولة. وربما كانت أشكال الحياة تلك قادرة على قياس الزمن بالسنوات، الزمن الذي عاشت فيه في علاقتها الودية مع بعض العناصر الشديدة الندرة. فلا ريب في أن الأحافير تحسن إخبارنا بالزمن. والحق أنه لا غنى عنها من الناحية العملية. إلا أن الزمن الذي تخبرنا به زمن نسبي. فبوسع المرء باستخدامها أن يعلم إن كانت إحدى الأحافير التي تحملها الصخرة بعمر أحفورة آخر تحملها الصخرة، أو أقدم منها، أو أحدث منها، وغالبًا ما يكون ذلك بدرجة دقيقة جدًّا. لكننا

لنعلم عدد السنوات فلا بد من رجوعنا إلى حدٍّ كبير إلى الساعة الإشعاعية، وإلى المعادن التي تحتوي العناصر النشيطة التي تتفكك إلى عناصر أخرى بنسب معروفة؛ كما رأينا في الفصل الثالث. وهكذا، فللحصول على عمر طبقات صخرية من طبقات الصخور الطينية في ويلز، فإن علينا أن ننظر إنْ كان هناك، في داخلها، مثلًا، طبقة من الرماد البركاني فيها بلورات الزركون التي يمكننا تحديد الزمن بدقة مدهشة. لكن للأسف، فهذه الطبقات نادرة عمومًا في صخور العصر السيلوري في ويلز، ولا شك أنه لا يمكننا توقع وجودها في حصاتنا، فطبقات الرماد البركاني ضعيفة متهالكة، تتكسر الصخور بسهولة بقربها.

لكن هناك عنصرًا آخر أكثر غرابة يمكننا الاستفادة منه. إنه الرينيوم، وهو أشد ندرة من الذهب، فهو يقاس بأجزاء بالمليار. إلا أن له خاصيتين تجعلان منه مقياسًا للزمن، وهو بذلك عنصر جديد في مجموعة العناصر التي تعطينا عمر الصخور الرسوبية. أُولاهما أنه عنصر مشع، يتفكك بفقده إلكترونًا إلى عنصر نادر مماثل بندرته؛ هو الأسميوم (وهو فلز يتميز بأنه أكثف الفلزات المعروفة، بكثافة مدهشة تبلغ نحو 22.6 غرامًا في السنتيمتر المكعب). وثانيتهما أن له ألفة - مثل الأسميوم - بالحديد، وبالكبريت، وبالمواد العضوية. وهكذا، نرى أنه في الطين الصفحي (والحق أنه في النفط) هناك ما يكفي تمامًا للقيام بالتحليل بالنسبة لهذين العنصرين، والخروج بعمر زمني منهما.

إنه إجراء طويل ومعقد ومكلف، ولا يجدر بواهني العزم (ولا المفلسين) التصدي له. كما سيحتاج المرء إلى إجراء لا تحليل واحد وحسب، بل تحليلات متعددة، ليصل إلى معرفة العمر

بالاعتماد على إيجاد على ما يدعى خط تساوي الزمن الجيولوجي (isochron): وهو أزواج متعددة من نسب الرينيوم والأسميوم لها علاقة ثابتة فيما بينها (ومع أن إيجاده عملية طويلة مبدئيًّا، إلا أن فيها اختبارًا للوثوقية مضمنًا فيها). وهكذا ينبغي التضحية بحصاتنا المسكينة مرة أخرى، بتقطيعها إلى قطع متعددة، قطعةٍ لكل عملية تحليل (ولا بد أن يكون هناك ما يكفي تمامًا من مادتها)، ثم تمر بإجراء حذر دقيق لعزل الكميات الصغيرة جدًّا من هذه العناصر، وقياسها بمطياف الكتلة.

والحصول على عمر إشعاعي موثوق من صخر رسوبي، دون أن يكون علينا الاعتماد على احتمالات إيجاد طبقات من الرماد البركاني، هو عمل يعد طقسًا مقدسًا عند الجيولوجيين. ولا ريب في أن ساعة الرينيوم والأسميوم تبشر بالنجاح - فالظاهر أنها تفلح في عملها، والأعمار القليلة التي نجحت في الحصول عليها إلى الآن متسقة مع الأعمار الأخرى، على الرغم من أنها ليست دقيقة بعد مثل ساعة الزركون الجيولوجية الرائعة. وبما أنها مكلفة جدًّا ومجهدة جدًّا، فإنها بعيدة كل البعد عن أن تكون تقنية منهجية اليوم. لكن في بضع سنوات، قد تصبح تقنية منهجية، لتفتح أفقًا جديدًا من احتمالات رسم تاريخ الكوكب.

وفي هذه الأثناء، ما زالت حصاتنا المتواضعة أكثر انغلاقًا في عالمها، عندما كانت رسوبياتٍ في قاع البحر. ولم يحن الوقت بعد لدفن تلك الرسوبيات، والدخول في عالم ما تحت الأرض. فما زال هناك سؤال لاستيضاح أمر مكان وجود تلك الرقعة من الرسوبيات في كوكب الأرض.



# المكان على الأرض

## ذاكرة المغناطيس

بطريقة أو بأخرى تشبه حصاتنا إحدى رقاقات الحواسيب الحديثة، وقد حشيت فيها معلومات أكثر مما يخاله المرء من النظر إلى سطحها الناعم. وتلك المعلومات المخزنة قد ترتبط بأي حقبة من تاريخ الحصاة، ويمكن أن تؤخذ هذه المعلومات مما يجاورها - ربما من الحصيرة الميكروبية التي تنمو على البقعة نفسها من قاع البحر، حيث تتكدس رسوبيات الحصاة. لكن تلك المعلومات يمكن أن تأتيها من مكان بعيد أيضًا، كالنيازك المجهرية التي تحط في المحيطات وتنجرف ببطء إلى الأرض في البقعة نفسها تمامًا (ومن المرجح أن هناك كذلك بضعة نيازك منها في حصاتنا). وبعض المعلومات محفوظة بالصورة التي كانت عليها يوم كتبت في نسيج الحصاة، بترميزها الخاص بها، لكن بعضها الآخر كتبت فوقه معلومات أخرى بالكامل تقريبًا، عندما أضيفت إليها معلومات أخرى في فترة زمنية لاحقة.

ولعلنا ننظر هنا في بعض المعلومات التي من الراجح جدًّا أنها لم تمح تمامًا من قبَل التاريخ الصاخب التالي للحصاة - تاريخ ينبغي ألا يمنعنا من محاولة استرجاع ما نستطيع استرجاعه منها. ومع ذلك، فعندما كتبت تلك المعلومات في نسيج الحصاة، أعطتنا إشارة واضحة سافرت بسهولة عبر حوالي 4000 ميل في الصخور

الصلبة، منتقلةً مباشرة من مركز الأرض. وهذه الإشارة قامت برفقٍ بدفع وتوجيه رقائق معينة من الرسوبيات الساقطة على قاع البحر ذاك. فجعلتها تنتظم في صفوف، كانتظام صفوف العسكر تقريبًا، متجهة باتجاه القطب. وبذلك فهي تشكل ذاكرة لخطوط العرض.

إن الحقل المغناطيسي للأرض هو من الأمور الغامضة. فما هي المغناطيسية؟ عندما كنت طفلًا، اعتدت على دفع القطبين الشماليين لمغناطيسي لعبة باتجاه بعضهما بعضًا، وما أزال أذكر حتى الآن كم كانت صعوبة جعلهما يتلامسان أمرًا محبطًا لي - أو كم كان من الصعب منع القطبين الشمالي والجنوبي من التصاق أحدهما بالآخر عندما كنت أحاول إبقاءهما بعيدين عن بعضهما بعضًا مسافة صغيرة جدًّا. وبعد بضع سنوات من ذلك، راقبت الأمر متأثرًا به، لكن دون أن أفهمه، وأنا أستاذ للفيزياء أنثر برادة الحديد حول مغناطيس، لأبين للطلاب كيف تصطف البرادة على طول خطوط القوة غير المرئية. لكن ماذا كانت تلك الخطوط؟ - ولماذا كان لها ذلك الشكل الخاص؟ وما زلت لا أفهم الأمر فهمًا عميقًا، وفهمي له لا يزيد على تفسيري كيفية إظهار أجزاء الحاسوب حروفًا على الشاشة عندما أضغط مفاتيح لوحة المفاتيح. فليس عندي فهم للأمر أكثر من ذلك.

كذلك كان القدماء محتارين في أمر المغناطيسية بالقدر نفسه (لكن لأسباب أكثر). فالخصائص المغناطيسية لحجر المغناطيس (وهو معدن المغناطيت الحديدي) كان قد اكتشفها الصينيون قبل أكثر من 2000 سنة، وتابعوا فاخترعوا البوصلة، عن طريق وضع ملعقة مصنوعة من حجر المغناطيس على لوح ناعم. وقد استغرق الأمر

ألف سنة لتصل معرفة هذه الظاهرة إلى أوروبا، عندما رأى الأوروبيون إبرة حجر المغناطيس تتجه باتجاه نجم القطب، وهو النجم الثابت الوحيد في السماء، وعُدَّ ذلك طبعًا مصدر المغناطيسية (مع أنه كانت هناك فكرة مخالفة جذابة تقول بوجود جبال كثيرة من حجر المغناطيس في القطب الشمالي).

ثم جاء اكتشاف الانحراف المغناطيسي: وهو أن إبرة البوصلة لم تكن تشير إلى الشمال الحقيقي، بل هي تنحرف عنه بقليل، إلى الشمال المغناطيسي؛ ثم جاء اكتشاف الميل المغناطيسي، حيث تشير الإبرة أيضًا باتجاه الأسفل نحو القطب (لا نحو خط الاستواء على الإطلاق، لكنها تشير عموديًّا باتجاه القطب - حيث تكون البوصلة هناك عديمة النفع لهذا السبب). وكان أول من فهم مغزى ذلك سنة 1600 ويليام غيلبرت (William Gilbert)، الذي قام بتجارب على كيفية تأثير كرة من حجر المغناطيس (تمثل الأرض) في إبرة من حجر المغناطيس تتحرك على سطحها. وأدرك أن سبب الاتجاه المغناطيسي للإبرة لا يعود إلى النجوم، ولا إلى الجبال المغناطيسية، بل إلى أن الأرض بأكملها تتصرف كأنها مغناطيس.

ومن المعروف اليوم (مع أنني لا أفهم تمامًا هذا الأمر أيضًا) أن الحقل المغناطيسي ناتج عن نواة الأرض المنصهرة (التي لها مع ذلك مركز صلب). والتياراتُ الكهربائية الدوامة، في النواة الخارجية من الحديد والنيكل المنصهرين التي تدور ببطء، بالإضافة إلى دوران الأرض حول محورها، هي السبب في الحقل المغناطيسي للأرض. وإذا نظرنا بإمعان أكبر، لرأينا أن الحقل المغناطيسي الأرضي حقل متنقل، وديناميكي: فدوران الأرض

يبقيه قريبًا من محور الشمال والجنوب، لكن عند التدقيق نرى أن القطبين الشمالي والجنوبي المغناطيسيين ليسا مستقرين البتة، بل هما يتحركان عبر سطح الأرض بمعدل عشرة كيلومترات في السنة أو أكثر، مما يؤدي إلى انحراف متغير لهما باستمرار.

كما أن الحقل المغناطيسي ينقلب بين الحين والآخر، فيصبح الشمال جنوبًا والجنوب شمالًا - ومؤخرًا أصبح ينقلب كل بضع مئات آلاف السنين، مع أنه في بعض الفترات بقي معلقًا دون انقلاب لعشرات ملايين السنين. وفي العصر السيلوري، كان الحقل المغناطيسي كثيرًا ما ينقلب عمومًا، مع أنه كانت هناك «مرحلة سكون» في وسط تلك الحقبة تقريبًا لم يكن فيها أي انقلابات.

وبالنسبة لحصاتنا، فإن من النقاط ذات الأهمية العامة أن هذه الظاهرة كانت كفيلة بازدهار كل أشكال الحياة التي أصبحت محفوظة داخلها. فلولا الحقل المغناطيسي، لما كان هناك درع يحمي الأرض من الإشعاعات الكونية للرياح الشمسية، التي لو دخلت الأرض لأتلفت أي مواد كيميائية عضوية مرهفة ومعقدة تبشر بالنماء على هذا الكوكب، بالإضافة إلى أنها كانت ستزيل معظم طبقات الغلاف الجوي ومعظم المحيطات - وهو الأمر الذي ربما حدث في الزهرة والمريخ، فكلاهما ليس فيه حقل مغناطيسي.

والأمر الأكثر أهمية أن هذه الظاهرة هي المسؤولة عن اصطفاف جُسيمات رسوبية معينة على خطوط القوة المغناطيسية لهذه الظاهرة، لتشكل إبر بوصلات صغيرة جدًّا مضمنةً في

الرسوبيات. وهذه الجسيمات هي جسيمات من أي شيء مغناطيسي، وتكون بخاصة جسيمات من أكسيد الحديد، ومن ذلك الغوتيت وحجر المغناطيس، اللذان يشكلان جزءًا صغيرًا من الطمي والرمل الناعم مما جلبته تيارات العكارة وتصعدات الكدارة إلى البحر.

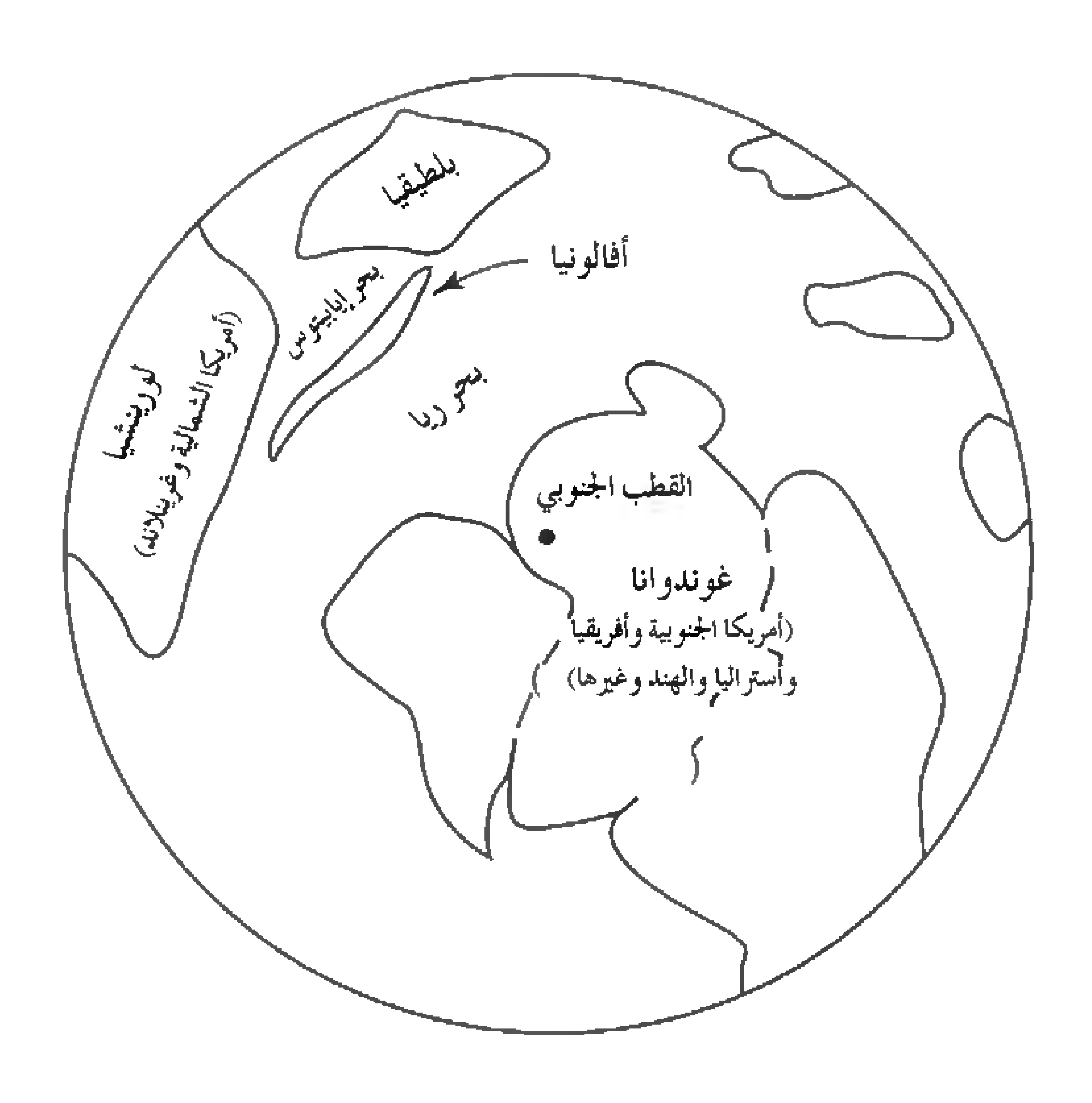
إنها علامة يمكن قراءتها من الصخور، بتلطف أيضًا من الإبداع الذي طوره الإنسان في سبر معظم الخصائص الرقيقة والعميقة لأي مادة في الأرض. وفي المختبر، يمكننا أن نقيس أي شيء تبقّى من الكميات الصغيرة جدًّا من المغناطيسية التي انتقلت إلى الرسوبيات الأصلية، وذلك في عينة مقطعية صغيرة أخذت من الطبقات الصخرية. وللقيام بذلك بالصورة الصحيحة، ينبغي لنا أن نعلم كيف توضعت الصخرة في الطبقات الصخرية، لنكون قادرين على ربط موقعها الحالي بموقعها القديم. فحتى الحصاة يمكن أن تعطينا بعض المعلومات - مثل الزاوية النسبية التي صنعتها إبر البوصلات الطبيعية الصغيرة هذه مع قاع البحر السيلوري.

وتلك هي المعلومات الرئيسة - فكلما زادت الزاوية، زاد القرب من القطب الشمالي أو الجنوبي، وبذلك يمكننا استنتاج خط العرض. أما معرفة خط الطول فذلك أمر أكثر صعوبة - والحق أنه يستحيل تحديده بهذه الطريقة، ويعتمد إلى حد كبير على التخمين بالخبرة وباستخدام طرائق أخرى. ومع ذلك، فتحديد خط العرض أمر جيد جدًّا. فالبقعة التي كانت فيها الحصاة في قاع البحر كانت على بعد نحو 35 درجة جنوبي خط الاستواء، وهو خط العرض تقريبًا لطرف نيوزيلندا الشمالي اليوم، أو الطرف الجنوبي لإفريقيا.

ومنذ ذلك الزمن تحركت بقعة الحصاة، بصورة مستمرة تقريبًا، باتجاه الشمال. ثم، بعد 50 مليون سنة أو نحو ذلك، في العصر الديفوني وأوائل العصر الكربوني، كانت في جنوبي المنطقة المجاورة لخط الاستواء. وبما أنها كانت هناك على عمق حوالي 5 كيلومترات تحت الأرض، فقد كانت إلى حدٍّ كبير غير متأثرة بحالة الجو عند السطح (الذي كان دافئًا إلى حد كبير وشبه قاحل). وبصورة مشابهة، فقد عبرت خط الاستواء قبل حوالي 310 ملايين سنة. ولم يكن هناك صخب، ولا احتفالات، ولم يكن للتضاريس التي اختلفت بوضوح في الأعلى (المستنقع الاستوائي الرطب) أي تأثير يمكننا كشفه في نسيج الحصاة. وبعد ذلك انتقلت باتجاه خط الاستواء قبل مليار سنة، وكانت تحت صحراء، قاحلة تمامًا اليوم وشديدة الحرارة، في موضع يشبه اليوم الصحراء الكبرى، في شمالي المناطق القاحلة المجاورة لخط الاستواء.

ومن هناك تقدمت ببطء إلى موضعها الحالي. وكانت أقصر مسافة محتملة هي ما يزيد قليلًا على 10000 كيلومتر (دون احتساب مسافة الانتقال من الشرق إلى الغرب)، تم قطعها، بأكملها تقريبًا تحت الأرض، فيما يزيد قليلًا على 400 مليون سنة، بسرعة متوسطة تزيد قليلًا على سنتيمترين في السنة. وهي ما زالت تتحرك طبعًا.

إلا أن تقدمها لم يكن ثابتًا، لأن قدَر أفالونيا كان محكومًا بجاراتها الأكبر منها في الشمال والجنوب. وإبر البوصلات المتجمدة في الصخور تنبئنا بالعلاقات التي كانت بينها. ففي الشمال بدأ يظهر ما ندعوه اليوم اسكتلندا، وأمريكا الشمالية، وبحر إيابيتوس، الذي شكل ذات يوم حاجزًا بعرض آلاف الأميال، أغلق بالكامل تقريبًا.




الشكل 5 - موقع أفالونيا في العصر السيلوري

وفي اتجاه الجنوب، تقع قارة غوندوانا[23] الضخمة، التي تشكلت منها نواة قارة إفريقيا اليوم، لكنها كانت على بعد أكثر من 1000

ميل، بتحركها مبتعدة في نحو 100 مليون سنة. لكن المحيط الذي كان، (Rheic Ocean) المتداخل معها، وهو محيط رِيَا كبيرًا بأقصى حد وصل إليه، كان قد بدأ بالانغلاق. وفي مئة مليون سنة أخرى تقلص حتى تلاشى، وذلك مع انزلاق قشرة المحيط إلى الوشاح على طول مناطق الاندساس.

إن الذاكرة المتجمدة لهذه الرحلات جاءت هبةً من نواة الأرض. ولعل في ذلك ما يفاجئنا، فقد تغير العالم كثيرًا منذ زمن تشكُّل الحصاة. فقد تغير السطح، طبعًا، بانزياح القارات، ونمو أحزمة جبلية واندثار أخرى وظهور أشكال جديدة للحياة. لكن هذا، بمعناه الحقيقي في جوهره، أمرٌ ظاهري. فما تغير حقًّا، وبدرجة هائلة، هو مركز الأرض؛ إنه نواتها التي يغلب عليها النيكل والحديد. فهذه النواة، اليوم، هي كرة من الفلزات المنصهرة بقطر 7000 كيلومتر، وداخلها نواة داخلية، بقطر 2400 كيلومتر تقريبًا، وهي من الفلزات الصلبة. وهي ليست في حالة ثابتة؛ فنواة الأرض تتجمد باستمرار وبلا كلل، مع تبرد الكوكب بأكمله. وقبل نحو مليار سنة (تقريب غير دقيق تمامًا: فالتقديرات تتراوح بين 3 مليارات سنة إلى نصف مليار سنة) لم تكن هناك نواة داخلية صلبة. بل هي نشأت منذ ذلك الزمن، وبعد نحو مليار سنة من الآن ستكون النواة كلها قد أصبحت صلبة، فالنواة كلها سوف تتجمد - وبذلك سيختفي الحقل المغناطيسي الذي يحمي الأرض. وليس بمقدورنا فعل أي شيء حيال ذلك، على عكس ما يحدث في الأفلام السينمائية.

ومعدل هذا التغير مدهش. ولنفترض أن الطبقات الصخرية في الحصاة تمثل شيئًا من انتظام رسوبياتٍ قرنًا من الزمان في قاع

البحر، وهو زمن قريب لعمر الإنسان. ففي ذلك الزمان، وبافتراض أن معدل التجمد يشبه ما هو عليه اليوم؛ حوالي 5000 طن في الثانية؛ فإن حوالي 1.5 ألف مليار طن من الفلزات ستتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة - وبذلك يكبر قطر النواة الداخلية بحوالي 5 سنتيمترات. ولنا أن نتصور بلا شك أن النواة الداخلية المتنامية ما هي إلا كوكب يتطور داخل كوكب، فخبراء الزلازل وأصحاب النظريات الذين يعكفون على بناء تصور لحال الأرض في الماضي يفترضون اليوم أن هناك نوعًا من الحركات التكتونية عند سطحها؛ فقطاعات كبيرة من «القشرة» السطحية تتمزق وينزلق بعضها فوق بعضها الآخر. وهناك آخرون يتكهنون بأن معالم تضاريس النواة الداخلية يغطيها ما يشبه الغابة، من بلورات الحديد المتشعبة التي تنمو إلى خارجها لتصل إلى الحديد السائل فوقها.

وفي زمان حصاتنا في العصر السيلوري، ربما كانت بنية وسلوك النواة الداخلية مختلفين تمامًا. فبما أنها كانت أصغر حجمًا، فلعلها كانت تتأثر بصورة أشد عنفًا بالتحركات الحرارية العمودية للمادة في داخلها، وكانت هذه التحركات تدفعها الحرارة المنطلقة من تحول الفلزات من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. وهذا يمثل تحولًا أساسيًّا في خصائص الكوكب؛ حتى لو كان ذلك التحول يجري بعيدًا أسفل سطح الكوكب. لقد كان كوكب الأرض عند تشكل الحصاة كوكبًا مختلفًا بحق.

لكن ما الذي يسعنا أن نزيد في قوله بشأن موضع بقعة الحصاة على قاع البحر؟ هناك أمور أخرى نستنبطها من حمولاتها الصغيرة جدًّا من الجسيمات والجثث، وكيفية ارتباط هذه

الجسيمات والجثث بمقابلاتها في الطبقات الصخرية في أماكن أخرى داخل رقعة أفالونيا البائدة وحولها. فالجسيمات على سبيل المثال، وعلى الرغم من أنها مدفونة بعيدًا عن اليابسة بفعل تيارات العكارة، لا يبدو أنها مدفونة في قاع البحر الحقيقي؛ بالطريقة التي جاء بها مثلًا الطين والرمل من جبال الهيملايا لمسافات بعيدة عبر قاع المحيط الهندي. ولم يوجد أثر كأثر البازلت الذي يشكل قشرة المحيط الحقيقية، لم يوجد مرتبطًا بشرائح الطبقات الصخرية التي جاءت منها الحصاة؛ إذا تتبعها المرء حول إقليم ويلز. بل كان ذلك بحرًا عميق الأغوار، لكن الحصاة التي تشكلت داخل قشرة قارة أفالونيا، مع تمدد قشرة القارة وغرقها، سحبتها الحركات التكتونية. وهكذا، كان هذا البحر القديم في ويلز قريب الشبه ببحر الشمال، الذي ما زال في همود يكدس شرائح سميكة من الرسوبيات اليوم أكثر من شبهه بالمحيط الأطلسي.

## احتمال وجود الحيوانات

هل هناك طريقة أخرى يمكن للمرء بها أن يدرك موضع بقعة الحصاة، نسبةً إلى مكان آخر؟ إن دراسة الأحافير هي مهمة أخرى على المرء خوضها. فهي ليست مؤشرات على الزمن الجيولوجي الماضي وحسب، بل هي أيضًا مؤشرات للجغرافيا، لتحديد الموقع على كوكب الأرض. واستخدامها هنا سيكون معاكسًا لاستخدامها في تحديد الزمن، فأفضل الأحافير التي ترشدنا إلى الزمن الجيولوجي ليست تلك التي عاشت سريعًا وماتت في

شبابها وحسب، بل أيضًا تلك التي كانت لها مستعمرات واسعة اتساعًا بأكبر ما يمكن، بحيث إنها ظهرت في الطبقات الصخرية - ومكنتنا من المقارنة - في مواضع كثيرة كثيرة في أصقاع الأرض.

لكن لتقودنا الأحافير إلى الموقع الجغرافي، لا بد لها أن تكون مغروزة في الطبقات الطينية وأن تكون من الأنواع الملازمة لمكانها - كما هي العصافير والسلاحف العملاقة في جزر غالاباغوس على سبيل المثال، حيث لكل جزيرة كائناتها الخاصة بها، أو مثل تنّينات كومودو. وبذلك فإن ما يتحكم بتوزع كل نوع من الأنواع الحية بصورة جزئية هو ظروف درجة الحرارة والموارد الغذائية التي تناسبها، وبصورة جزئية أيضًا الصُّدفة - حيث تظهر الصدفة - وبصورة جزئية أخرى العوائق التي تحول دون هجرتها إلى أماكن أخرى تكون الظروف فيها مناسبة لتكاثرها؛ نظريًّا.

لكن للأسف، فأحافير الحصاة لا تشبه عصافير داروين، التي يلتزم كل منها بجزيرة معينة وبذلك يميز تلك الجزيرة (في نظر العين الفطنة). أما العوالق في بحر مفتوح، فيمكنها الانتشار بصورة أكثر اتساعًا، والعوائق التي تقيدها رقيقة جدًّا. ومع ذلك، فعوالق اليوم تواجه عوائق تعيقها في البحار. فهي حساسة لدرجة الحرارة، ومستويات الغذاء، ومستويات الرسوبيات العالقة. وهناك كائنات معينة تسكن مناطق مائية ذات خصائص معينة. وعلى نحو مشابه، فإن عوالق العصر السيلوري في الحصاة، لم تكن تستطيع الانتشار عبر محيطات اليوم، ولا هي انتشرت فيها، بل كانت تقيم في مناطق من البحر تهيأت لها فيها الظروف المناسبة.

لكنها طافت أماكن واسعة إلى حدٍّ كبير. ومثال ذلك الغرابتوليتات؛ التي نجت بصعوبة عندما استخرجناها بلطف من حصاتنا. فلا بد أنك ستجد مثلها في طبقات صخرية أخرى لها العمر نفسه في ويلز. وهناك فرصة كبيرة لأن تجد الأنواع الحية نفسها تمامًا في مكان آخر حول شواطئ أفالونيا، وصولًا إلى ما يعرف اليوم بأوروبا الغربية مثلًا، وحتى أبعد من ذلك في وسط أوروبا، أو عبر البحر الضيق الذي ما زال يفصل - فقط - أفالونيا عما يعرف اليوم باسكتلندا وأمريكا الشمالية. لكنها ذهبت في تطوافها إلى مجالات أوسع، باتجاه المناطق المدارية في يومنا هذا (ومثال جيد لذلك هو الإقليم القطبي من كندا، بخلاف المتوقع) ولعل الحظ لن يحالفك كثيرًا هناك. فالمياه الدافئة هناك كانت موطنًا لتجمعات مختلفة من العوالق. ومن غير المرجح أن غرابتوليتات الحصاة ستكون موجودة هناك (لكن الأمر ليس مستحيلًا، فقد كانت هناك بضع كائنات تعيش مع بعضها بعضًا، وهو أمر من حسن حظ الذين يسعون إلى تحديد أحداث زمنية في تلك الأزمان البعيدة).

وفي نهاية الأمر، يودُّ المرء لو يضع غرابتوليتات الحصاة في محيط أكثر اتساعًا. حيث يَجري لكل نوع من الأنواع الحية (وفعليًّا لأي نوع من أنواع الحيوانات والنباتات)، التثبت الدقيق من زمان حياته ومكان حياته، وفهم توزعه الكامل في الزمان والمكان؛ ففي الزمان: الاستفادة منه الاستفادة القصوى بصفته علامة زمنية، وفي المكان: العمل على إعادة بناء الأقاليم البيولوجية العظيمة من الماضي وتحديد أنواع العوامل التي تحكمت بحياتها، كالمناخ مثلًا. وهذه مهمة ضخمة؛ إنها صنع قوائم جرد كثيرة للحياة عبر الكثير من ملايين السنين. كما أنها بالإضافة إلى ما تكلفه من وقت ومال وجهد (وأسًى أيضًا؛ مع أنها

عمومًا عمل لا تراق فيه الدماء في الغالب)، تكتنفها بعض العقبات المبدئية.

فعلى سبيل المثال، كيف للمرء أن يقتنع بما كانت عليه الأنواع الحية؟ ففي علم الأحافير، كل ما يمتلكه المرء عادة هو البقايا المسطّحة والمهشّمة، لجزء ما غير مكتمل من جثة، لما كان يومًا ما حيوانًا حيًّا أو نباتًا حيًّا. ويجادل علماء البيولوجيا حتى في تعريف الأنواع الحية اليوم، لكن التعريف الصالح والعملي لها هو أنها عدد من الأحياء القادرة على الاختلاط والتكاثر. لكن الآن من الواضح أن ذلك ليس اختبارًا يمكن للمرء تطبيقه على الأحافير. فقد ولَّت أيام تكاثرها. إذًا ما يعمل عليه المرء هنا يدعى الأنواع الحية المتشاكلة (morphospecies) - وهي الأحافير التي تبدو قريبة الشبه ببعضها بعضًا إلى حد كافٍ يجعلنا نطلق عليها الاسم نفسه. فكيف يكون التشابه الكافي بينها تشابهًا كافيًا؟ وهنا يشتد الجدل، فبعض العلماء (وهم «المفرِّقون «splitters) يضعون فروقًا دقيقة جدًّا، ويعرِّفون كثيرًا من الأنواع الحية الأحفورية التي يختلف بعضها عن بعضها الآخر بتفاصيل دقيقة، وبعضهم (وهم «المجمِّعون «lumpers) يضعون حدودًا واسعة كثيرًا لما يعدُّونه نوعًا حيًّا مفردًا، فيسمحون بتنوع طبيعي أكبر في الحجم والشكل (كاختلاف البشر في هذه الخصائص مثلًا). والأسوأ من ذلك أن قلة قليلة من الأنواع الحية اليوم هي أنواع مبهمة، أي أنه إما لا يمكن إفرادها بأي سمات جسدية ظاهرة (بل اختلافاتها ربما كانت في فيزيولوجيتها أو سلوكياتها)، وإما أن الاختلافات الجسدية طفيفة جدًّا (وموجودة بالكامل في أجزائها الرخوة) بحيث إنها لا يمكن أن تكون أحفورية.

وفي مواجهة هذه المشكلات (ومشكلات أخرى)، من ذلك الذي يريد أن يكون عالم أحافير؟ إن حياته بائسة حتمًا. والأمر المذهل أن هذا العلم يسير في الخطوات التي يسير فيها. فغالبًا ما يكون هناك اتفاق مقبول بين علماء الأحافير بشأن ما ينبغي أن يدعى به أحفور ما (مع أنه لا يمكن إنكار أنه اتفاق مقبول بتحفظ)، وذلك يمكِّنهم من إجراء المقارنات - إلى حدٍّ ما. وربما أمكننا حفظ كثير من مشكلات تصنيف الأحياء في صندوق بعيدًا عنا، لكن حينئذ، وبين الفينة والأخرى، سيفتح الصندوق، ويمكن أن نمعن النظر فيما بداخله. وبالطبع هناك أنواع حية أخرى، هي أنواع ملتبسة، يصعب تعريفها، وتثير الجدل. حسنًا، عند القيام بدراسات على مستوى كوكب الأرض على المرء أن يعمل على البيانات بأفضل ما يستطيعه، بعَجَرها وبَجَرها.

ويمكن أن تظهر لنا الصورة العامة بوضوح كافٍ حتى لو رأيناها من خلال بيانات ضوضائية، تنتابها العيوب، وتنقصها الموضوعية إلى حدٍّ ما. فبعض تجمعات الغرابتوليتات والكيتينيات، التي جرى جمعها بجهد من أرجاء العالم لتمثل «شرائح زمنية» معينة، تبين لنا تغيرات مفاجئة من تجمعات كثيرة شديدة الاختلاف، فيها الكثير من أنواع الكائنات، إلى تجمعات أقل اختلافًا وتنوعًا، كلما انتقل المرء من خطوط العرض الدنيا إلى خطوط العرض العليا. واليوم، هناك تغيرات مشابهة في العوالق الحديثة، تواكب موضع التقاء التيارات الباردة القطبية الشمالية والجنوبية بالبحار المعتدلة الدافئة. ويبدو أن تأثير هذه «الجبهة القطبية»، ربما أثر أيضًا في عوالق تلك المحيطات التي تلاشت منذ زمن بعيد.

ثم هناك الشُّذّان (جمع شاذّ). وهي أنواع كائنات غريبة تقوم بأشياء غريبة. فمثلًا أحد أنواع الغرابتوليتات عندما يلحظ وجوده في عمليات بناء تصور لحال الكرة الأرضية في العصر السيلوري، يبدو أنه يمتد من المناطق المدارية إلى الأقاليم المعتدلة، ويستمر امتدادها باتجاه القطبين - وهو مدًى واسع بصورة مذهلة. فهل كان الأمر ببساطة هو أن نوعًا من أنواع الكائنات كان أكثر تحملًا لدرجات الحرارة والبرودة المفرطة من أي نوع من أنواع العوالق الحديثة؟ أم أن نوعًا من أنواع الكائنات تغير موضعه في الماء سعيًا للمحافظة على إبقاء الظروف التي تحيط به على حالها: كان يعيش قرب سطح الماء عند خطوط العرض العليا، ثم انحدر إلى المياه العميقة الباردة حول المناطق المدارية. أم أنه لم يكن نوعًا واحدًا من الكائنات بل كان مجموعة أنواع، تتشابه فيما بينها، عاشت تقريبًا في الشريحة الزمنية نفسها، لكنها تختلف في خصائصها الفيزيولوجية؟ فتبدو هذه الأنواع وكأن لها تنوعات «واسعة» و«ضيقة» في بعض أرجاء مختلفة من العالم، وآخر هذه الاحتمالات ربما يكون أكثر التفسيرات قبولًا - حتى الآن.

فهو يبين لك أنه عندما يتناول المرء حفنة من الأحافير من الحصاة، ويشرع في البحث في خصائصها، وعلاقاتها، وتاريخها، فإن آثار العلامات التي سيجدها يمكن أن تقوده ليطوف حول العالم إلى حدٍّ ما. ولا يسع المرء إلا الاعتراف بأن هناك عادةً سلسلة من مضيعة الوقت تغص بعمليات البحث المخفقة على طول الطريق؛ لكن ذلك هو سحر المهمة برمتها - وعلاوة على ذلك فهي مهمة تبين لنا كم علينا أن نتعلم، وتبين لنا أننا ما زلنا في البدايات الأولى لعلمٍ ما زال في جِدَّته الأولى.

كذلك يمكن للمرء أن يمعن النظر في بقعته أيضًا. فللحصول على معنًى أكثر تفصيلًا لجغرافية الأزمان الخالية، على المرء أحيانًا أن يسير خارج حدود الحصاة، ويجرد محيطها - محيطها كله، أو على الأقل بقدر ما يستطيعه البشر. فالحصاة جزء صغير جدًّا من قاع البحر السيلوري، الممتد لأميال كثيرة في كل الاتجاهات. وقاع البحر ذاك كانت له جغرافيته الخاصة به؛ فبعض أجزائه كانت ضحلة، وأجزاء أخرى كانت عميقة، وبعض الرقع فيه كانت منبسطة، بينما شكلت بعض أقسامه منحدرات حادة. وكان لهذه الجغرافية تأثيرها - والواقع أنه كان لها تأثيرات كثيرة؛ فحيث كانت تنتهي وفرة الأكسجين في الماء، كان العوز للأكسجين يبدأ، وكانت تؤثر في نوع الحياة الذي كان موجودًا من جراء ذلك، وكانت تؤثر في نمط أمواج المد والجزر والأمواج الساحلية، ولعل الأكثر أهمية أنها كانت تؤثر في إنتاج صخور المستقبل، بتحديدها مسيرة تيارات العكارة المحملة بالرسوبيات، مع اندفاعها بخفة من المياه الضحلة.

فكيف يمكن للمرء أن يقوم باستكشافٍ يخوض فيه قيعان البحار القديمة؟ وما المشكلة في ذلك، فما على المرء إلا أن يسير فيها. ولا حاجة به إلى ملابس تحميه من الضغط العالي، ولا حاجة به إلى أسطوانات الأكسجين، ولا حتى إلى آلات الغوص. بل كل ما يلزمه زوجان من الأحذية الجيدة، وبنطال لا تؤثر فيه وخزات فروع الأجمات الكثيفة، ومعطف مطري، وقبعة تقيه حر الشمس

- لأن الطقس في هذه الأماكن يمكن أن يتغير تغيرًا كبيرًا. فبالسير في الأرياف، يكون المرء في نزهة في الطبقات الصخرية التي تستلقي على قاع البحر ذاك، ويكون لدى المرء كل البراهين اللازمة لنقل نفسه فوق خطوط التسوية الأصلية القديمة فيها. وإذا كانت الحصاة عالمًا مصغرًا، فهاهنا العالم الكبير. وهذا ما ندعوه الجيولوجيا الحقلية.

وأذكِّرك بأن هناك استعدادات لا بد لك من القيام بها. فلعلك لم تسر مسبقًا على أي سطح للطبقات الصخرية كان يمثل ذات يوم قاع البحر. إنك تسير لتجتاز سماكات من الطبقات الصخرية تمثل مقاطع من التاريخ لقاع البحر ذاك. لذا عليك ألا تسعى لرسم صورة وحيدة للماضي، أو نظرة شاملة للماضي. بل عليك أن تسعى لتصور صورة متحرّكة لقاع البحر، تتطوّر في الوقت نفسه في المكان وعبر ملايين السنين الغابرة. وهناك ستجد المشكلات العملية كلها. ففي واقع الأمر فإن منطقة ويلز أرض خضراء جميلة، ومعظم الطبقات الصخرية فيها يخفيها التراب والنباتات، وأنقاضٌ تركها العصر الجليدي الأخير. لذا على المرء أن يسعى باحثًا عن الصخور، على طول المجاري المائية والمضايق الجبلية (وهنا تظهر فائدة البنطال الواقي من فروع الأجمات) وعند جروف سفوح التلال، وفي محاجر المزارع أيضًا. فالصخر له تاريخ طويل، لذلك فقد تغضن وجهه، وتغير مكانه نتيجة الحركات الأرضية: وسيكون لديك أحجية للصور التركيبية ذات أربعة أبعاد، عليك أن تجمعها على النحو الصحيح.

إن الجيولوجيا الحقلية هي علم التشخيص الأخير، إنها فن الممكن، حيث يمكن لك أن تجمع بينات بقدر ما تصل إليه يدك، مع الكثير

من البراعة والتحليل مما اجتمع في خبرتك - وكذلك بإحساس مرهف بالحدود التي تقيد استنتاجاتك. فهذه فكرة عن قاع البحر الذي نبنيه في أذهاننا، وليست فكرة عن عظامه التي يمكننا إعادة بنائها بدقة في أحد المتاحف الكبيرة. إنها فكرة يمكن إخضاعها للاختبار (إلى حد تدميرها أحيانًا) عن طريق جمع بَيِّنات جديدة، ويمكن مراجعتها، وشحذها، والبناء عليها، لكنها على كل حال فكرة، فهي نموذج عمل يتطور بتطور فهمنا للماضي.

وعلى كل حال، فقد خرجت حصاتنا من جروف وسط غربي ويلز. وهي تشكل جزءًا من وحدة كبيرة من الطبقات الصخرية - لها امتداد كبير في التاريخ في قاع البحر. إنها طبقات صخرية تخضع للدراسة منذ زمن بعيد أيضًا. فمن المدهش انكشافها في الجروف حول بلدة أبريستويث الساحلية الكبيرة، فجذبت انتباه الكثيرين عبر السنين. والحق أن تلك الجروف هي واحدة من الأماكن التي فيها صخور مخططة بصورة منتظمة، فسرت أول ما فسرت على أنها نتيجة ظاهرة تحت سطح البحر، هي ظاهرة تيارات العكارة - وهو اكتشاف كبير في الجيولوجيا. وعندما كان الباحثون الأوائل يدرسون الجروف من الشمال إلى الجنوب، رأوا أن الطبقات تقلّ سماكتها وتزداد رقةً كلما اتجه المرء باتجاه الشمال، وأن حبيبات الرسوبيات التي تكوِّنها تصبح تدريجيًا ملساء. لذلك فمن المنطقي جدًّا استنتاج بنية مروحة العكارة هذه، إنها كتلة الرسوبيات التي ترق تدريجيًّا وتصبح حبيباتها أكثر نعومة على طول مسار تيارات العكارة، التي ترققها وتزيد نعومتها باستمرار.

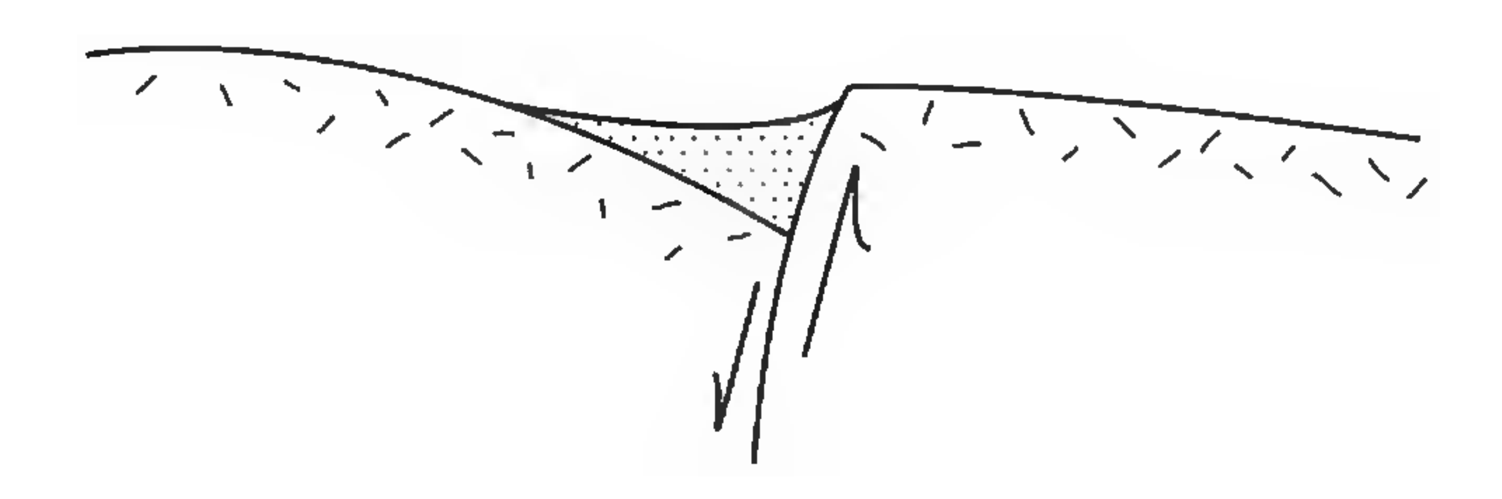
لقد كان ذلك هو النموذج القياسي لسنوات كثيرة - والواقع أنه جرت مقارنة طبقات صخرية من كل أرجاء العالم به. وهو نموذج صحيح - إلا أنه خاطئ. فالباحثون الأوائل اقتصروا في دراساتهم على الخط من الشمال إلى الجنوب على طول الجروف، لأن ذلك الخط هو الذي يمكن رؤية الصخور فيه بسهولة بالغة. ففي جهة الغرب يقع البحر - وبذلك لا يمكن للمرء أن يدخل فيها، أو على الأقل حتى يكون معه ميزانية بملايين الجنيهات الاسترلينية وغواصة تقلُّه. وفي جهة الشرق تقع تلال ويلز الخضراء، ذات الصخور المتغضنة التي تظهر بين مكان وآخر.

وللنظر إلى هذه الصخور، ورسم صورة لقاع البحر منها، على المرء ببساطة أن يتنزه في التلال والوديان، ويتفحص هذه الطبقات الصخرية، ويصفها، ويقيسها، ويفسرها - كما فسرنا حصاتنا في صفحات كتابنا هذا - من ناحية معرفة ما حدث في قاع البحر، ومتى حدث. ولنفترض أن كلمة «ما» يمكن أن تدلنا على القوة التي كانت عليها تيارات العكارة المتواصلة، والكمية التي كانت تحملها من الرسوبيات ثم ترسبها. أما كلمة «متى» - ولولاها لكانت الطبقات الصخرية كلها خليطًا مبهمًا من الصخور - فهي تدلنا على الأحافير، خاصة الغرابتوليتات، التي على المرء عند البحث عنها أن يدقق في الصخور الظاهرة بالنظر الثاقب - فهذه الكائنات كائنات صغيرة!. وبناءً على هذه الأحافير، يمكن للمرء أن يقسم الطبقات الصخرية إلى وحدات، تمثل كل منها حوالي نصف مليون من سنين التاريخ. وهكذا يتسنى للمرء أن يتتبع الزمن، مع تتبعه للصخور، في نزهة في الأرياف.

وعندما قمت بهذه الدراسة قبل بضع سنين، تغير شكل قاع البحر هناك وبصورة مثيرة. أو بالأحرى، تغير شكل الفكرة عنه في أذهان الناس، وأصبحت أكثر وضوحًا -وهذا ما يأمله المرء ويرجوه- وأقرب إلى قاع البحر الحقيقي، الذي كان موجودًا في العصر السيلوري. ولم تتغير هنا الطبقات الصخرية كثيرًا من الجنوب إلى الشمال - مع أن هذا التوجه ما زال ملاحظًا. بل هي تتغير من الغرب إلى الشرق - لكن كيف؟! فباتجاه الشرق، تصبح الطبقات الصخرية (الأساسية طبعًا في هذه الجروف البحرية) أكثر سماكة بصورة كبيرة، فتتغير سماكتها من بضع مئات الأمتار عند الساحل إلى أكثر من كيلومترين على بعد بضعة أميال قليلة في البر. والطبقات الصخرية الفذة، وهي وحدات من الرسوبيات ترسبت بوساطة تيارات عكارة فذة، تزداد سماكة أيضًا، فيصل بعضها إلى مترين وأكثر. وبعد ذلك، وأبعد من ذلك قليلًا باتجاه الشرق، تختفي هذه الطبقات الصخرية الضخمة. وكل ما حل محلها (ومرة أخرى، فإن الغرابتوليتات الصغيرة هي التي تدلنا على زمن الأحفور) هو بعض الصخور الطينية الرقيقة. فما الذي حدث؟

إن الجروف المكشوفة المعروفة تحولت إلى مجرد حافة رقيقة من وتد ضخم من الرمل والطين كان يتدفق إلى البحر السيلوري لويلز. وقد جاء من الجنوب فعلًا - فتلك الملاحظات الأولى لم تكن خاطئة. لكن معظم الرسوبيات، وبطريقة طبيعية تمامًا، تكومت في أعمق جزء من البحر الذي أصبح هو (في جغرافية العصر الحاضر) جزءًا من اليابسة. فمع تدفق الرسوبيات، هبط قاع البحر، فتدفق المزيد من الرمل والطين إليه، فدفع ذلك قاعَ البحر إلى الأسفل، واستمر الأمر كذلك دواليك - وعمليًا كان ذلك

ارتجاعًا إيجابيًّا. لكن قاع البحر لم ينخفض ببساطة كأنه طي يطوى. بل قام بفتح باب سري، له مفصل في الغرب ورضٌّ كبير في الشرق - فالق جيولوجي - حيث تكسرت طبقة صخرية كبيرة وانزلقت بصورة عمودية باتجاه الأسفل في القشرة الأرضية. وسبب ذلك جرفًا تحت البحر في الجانب الآخر، قام بتقييد وتوجيه تيارات العكارة المتدفقة على طول سفحه، مانعًا إياها من الاستمرار في التدفق شرقًا. إنه يدعى نصف خسف - وهي سمة شائعة إلى حدٍّ ما في المعالم الأرضية الماضية والحاضرة، لكن هذا المثال بخاصة مثال جيد لها. لقد فُتح الباب، فانخفض قاع البحر باتجاه الأسفل، وامتلأ بالرسوبيات، ثم أُغلق الباب من جديد فيما يزيد قليلًا على مليون سنة.



الشكل 6 - نصف خسف

إنها ظاهرة بديعة، فمعالم قاع البحر تطغى على معالم اليابسة في التلال من حوله. إنه محيط مناسب لرسوبيات الحصاة بينما كانت لا تزال عند السطح. لكن الآن حان الوقت لمفارقة الراحة

القصيرة لرسوبيات الحصاة عند سطح قاع البحر هذا، والدخول لأمد طويل في سجنها تحت الأرض. وسجنها، في هذه الحالة، كان سجنًا إصلاحيًّا.



# الذهب الزائف

## الميكروبات والفلزات

هذه بداية وداع طويل للعالم عند السطح. فالرقائق والحبيبات من مادة الحصاة تعيش الآن في ظلام مطبق (ربما باستثناء بصيص الضوء المتقطع الآتي من الوميض الفوسفوري الذي تصدره بعض الكائنات الميكروبية)، في أسفل أعماق البحر الراكد. والطبقات الصخرية التي نراها في الحصاة هي بسماكة بضعة سنتيمترات. لكنها الآن طبعًا مكونة من صخر جيد قاسٍ متوسط القوة ومضغوط بإحكام. وفي الأيام الخوالي، كانت تلك الطبقات تشكل طبقة من الطين - طين يملؤه الماء، ويتصف باللزوجة، والغروية، والراجح الغالب أنه كان ذا رائحة كريهة - بسماكة ربع متر أو أكثر، وكانت تشكل جزءًا من طبقة فوق قاع البحر تمتد عشرات الكيلومترات في كل الاتجاهات. ولنتوقف عندها في تلك المرحلة الزمنية، قبل أن تدفَن بتدفقات أخرى من الرسوبيات الآتية من تيارات العكارة التي لا نهاية لها.

لقد كان الطين ممتلئًا بالحياة، خاصة عند السطح، فمعظمه تقطنه دويلات مجهرية بالغة التعقيد تشكل حصرًا ميكروبية. لكن حتى تحت ذلك هناك نشاط كبير في الطين المطمور نفسه. فالواقع أنه نتيجة براعة الميكروبات في التشبث بالحياة في شتى أنواع الظروف، فإن ذلك النشاط كان سيستمر لأمد ليس بالقصير أيضًا.

فهذه الميكروبات التي لا تعرف الكلل، كان عليها أن تجتهد لتحافظ على بقائها. ومن الطرق التي تنجدها في ذلك استفادتها من الأنسجة الطرية للعوالق الساقطة، التي تتفكك ويعاد تدويرها في عملية ندعوها التحلل. وحتى في هذه الظروف المعوزة للأكسجين، حيث يكون التحلل بطيئًا، فإن البنية الجزيئية المعقدة الرائعة لأنسجة الأجسام بدأت بالتدهور، لتتحول إلى جزيئات أصغر وأبسط، تاركة فقط البقايا التي لا تؤكل؛ وهي أغلفة الأركيتاركات والكيتينيات، وتاركة مقرات سكنى الغرابتوليتات، التي يبدو أن الميكروبات لم تستطع أن تنجز الكثير في أن تضع لنفسها فيها موطئ قدم (كما يقال)، مع أنها أمضت عقودًا وقرونًا من الزمن تحاول ذلك.

إنها مهمة لا بد من توليها في هذه الرحبة المجهرية، وسط حطام من البروتينات، والدهون، والكربوهيدرات. إلا أن هناك مهمات أخرى، منها البحث عن الطاقة. وهذه المهمة أدت بها إلى منتج ثانوي مفاجئ - لكنه جميل جدًّا (في نظر الإنسان).

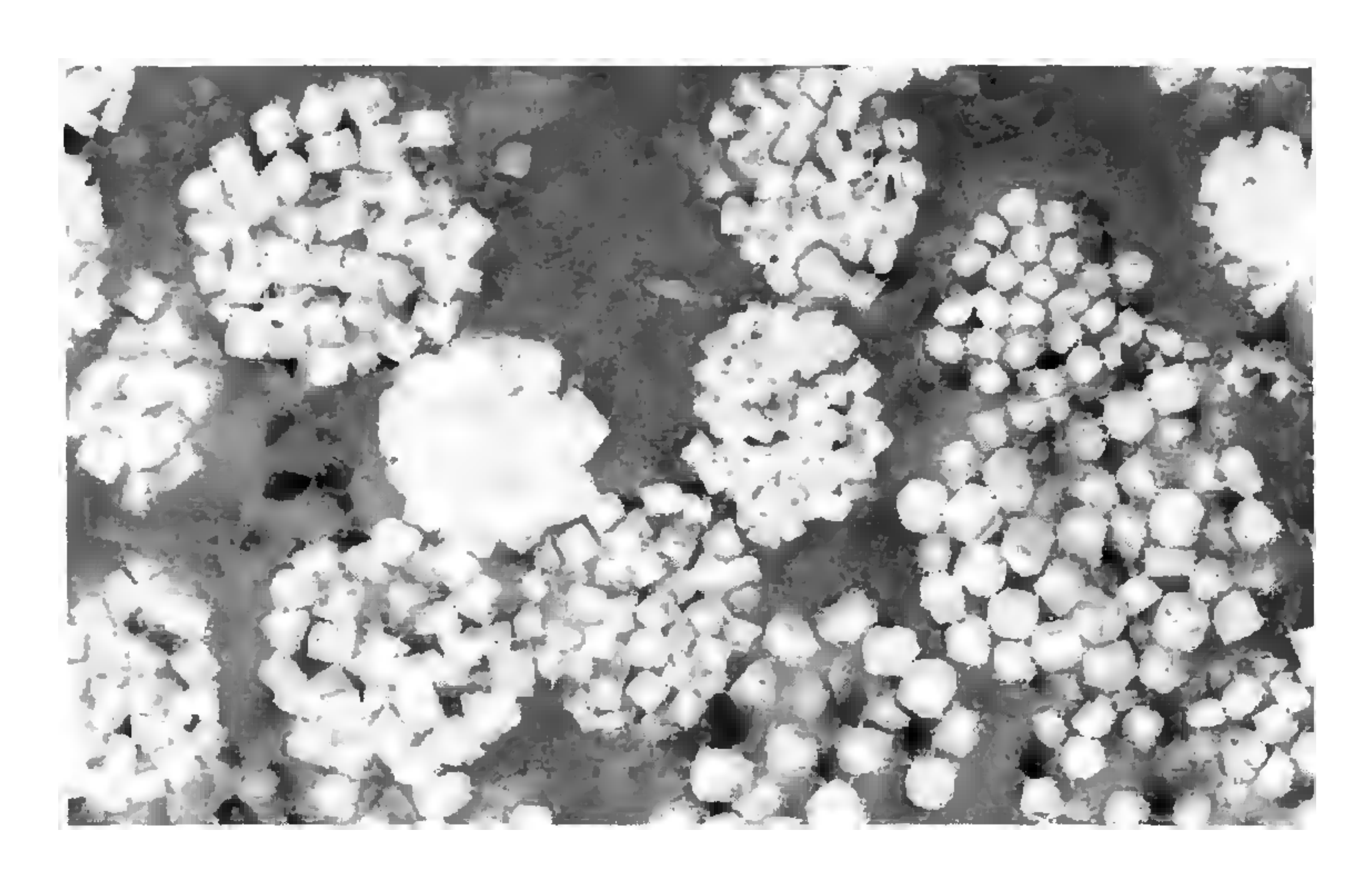
فنحن طبعًا نستخدم ذاك الأكسجين وقودَ الصواريخ (بكل معنى الكلمة)، الذي يعد الوسيلة الأكثر فعالية في حرق وقود غذائنا. وعند غياب الأكسجين، يلجأ المرء إلى استخدام أفضل شيء بعده. وأفضل شيء بعده في مياه البحر هو شاردة الكبريتات ($SO_4^{2-}$)؛ الموجودة بوفرة. والواقع أنه لو تبخر ماء البحر فإن أحد أهم النواتج من كلوريد الصوديوم (الملح الصخري) هو كبريتات الكالسيوم، الذي يعرف أيضًا بالجص، وهو المادة التي تكتسي بها مدينة باريس. فإذا نزَع ميكروب ذرات الأكسجين من الكبريتات، فإن الكبريت سيتحول من تلقاء نفسه، لا إلى كبريت حر، بل إلى

وعندما تلتقي شاردة الكبريتيد مع شوارد .($S^{-2}$) شاردة كبريتيد
وهو - FeS2 الحديد المنحلة، فإنها تجتمع لتشكل كبريتيد الحديد
البيريت، ويدعى أحيانًا بيريتات الحديد؛ ويشتهر باسم الذهب
.الزائف، بسبب لونه الأصفر الذهبي الجميل

فهل خدَع ذلك المركب كثيرًا من الباحثين عن الذهب؟ لعل
الأغرار قليلي الخبرة - أو المستثمرين السذج الحالمين بالأمنيات -
ينخدعون به لأول وهلة. إلا أن البيريت معدن شائع، وأي شخص
يبحث في الصخور ليكسب لقمة عيشه سرعان ما يصادفه في
عمله. وهو لا يشبه البتة في ثقله الذهب، وهو هشٌّ لا طَروق،
ويزول بريقه بسهولة. أما ترسبات الذهب فعادةً ما تتشكل في
أعماق الأرض. ولا شك في أن البيريت يمكن أن يتشكل في
أعماق الأرض أيضًا - لكنه قد يتشكل أيضًا في أماكن قريبة من
.السطح - مثلًا تحت قدمك تمامًا عندما تتنزه على الشاطئ

وفي المياه الراكدة العميقة، فوق قاع البحر، ربما حدث شيء
مباشرة فوق البقعة الصغيرة التي كانت تتشكل فيها الحصاة.
فببساطة، ظهرت في المياه المظلمة بلورات ذهبية صغيرة جدًّا من
البيريت، وظلت معلقة هناك. لقد كانت تلك البلورات مكعبات، أو
أشياء تشبه المكعبات - لها مثلًا زوايا وحوافٌّ مائلة. وبطريقة ما،
وأثناء تشكلها، انتظمت في مصفوفة ثلاثية الأبعاد، مصفوفة ذات
تميز هندسي بديع: فأصبحت كرةً مكونة من مئات كثيرة من
البلورات المجهرية المفردة. وهذه البنية المجهرية المركبة تشبه
قليلًا حبة الفراولة، واسمها ينبئ بذلك. فاسمها فرامبُويْد البيريت
(pyrite framboid) وهو مأخوذ من كلمة فرامبوا
(frambois) التي تعني توت العلَّيق بالفرنسية). وعندما تصبح

كبيرة جدًّا بحيث لا يعود الماء قادرًا على حملها، ويكون قطرها بحدود تسعة بالألف من المليمتر، تبدأ بالغرق في مياه البحر لتسقط على الطين في الأسفل. لقد كانت الفرامبويدات تتساقط كالثلج، ولا بد أن بعض ذلك الثلج سقط في رقعة صغيرة جدًّا من الطين أصبحت في حصاتنا. وداخل الطين نفسه، كانت هناك فرامبويدات أخرى تتشكل، بالعملية نفسها ومن المواد نفسها. لكن في هذه المرة، وبما أنها محمولة داخل الطين الكثيف، أصبح بإمكانها أن تكبر إلى أحجام أكبر، وغالبًا ما



الشكل 7 - فرامبويدات البيريت؛ مكبرةً جدًّا

يصل عرضها إلى واحد بالعشرة من المليمتر أو أكثر من ذلك.

فكيف تشكلت هذه البنيات الرائعة؟ هل كانت الفرامبويدات أساسًا مستعمرات بكتيرية أحفورية؟ ذلك ما يفترضه العلماء. حسنًا، لكن لا يبدو أن ذلك هو حالها بالضبط، لأسباب ليس أقلها أن الفرامبويدات نمت بصورة اصطناعية في بيئة مجدبة في المختبر، إذن فيمكن أن تتشكل بغياب أشكال الحياة، وهندستها الغريبة هي نوع من سلوك التنظيم الذاتي الذي ينتج من قوانين الفيزياء والكيمياء البسيطة (البسيطة!). ومع ذلك، وفي معظم الأمثلة الطبيعية، وجدت الميكروبات تعمل على مساعدتها في عملية تشكلها، وتحفيزها، وتيسيرها - على الأقل بتقديمها إمدادات جاهزة من الكبريتيد لترتبط بالحديد.

وفيما يخصّ المادتين الخامَتين الحديد والكبريت، لعله كانت لهما رحلات مختلفة تمامًا قبل أن تجتمعا معًا في هذا المعدن الجديد البراق. فالكبريت، حاله كحال الكربون، ربما سافر مسافات بعيدة وشاسعة قبل أن ينتهي به الأمر إلى الاستقرار. ولنأخذ ذرة من ذراته على سبيل المثال: انطلقت مثلًا من بركان ما على هيئة غاز ثاني أكسيد الكبريت، وقطعت نصف العالم، وملايين كثيرة من السنين، قبل أن تُنتزَع رسوبيات الحصاة من مهدها الصخري الأصلي القديم. وجرفها الهواء، لينتهي بها الأمر بعد ذلك إلى الانحلال في المحيط على هيئة كبريتات. وعندما أصبحت تلك الكبريتات في المحيط، انجرفت مع تياراته ألف سنة، مبحرةً حول العالم مرات كثيرة، قبل أن تفككها الميكروبات التواقة إلى الطاقة وتحولها إلى ذلك الذهب الزائف.

إلا أن رحلة شريكه الحديد، ربما كانت رحلة مباشرة إلى حدٍّ كبير. فقد وصل الحديد مع جسيمات الرسوبيات، حيث كان جزءًا

من حبيبات معدنية. وفي قاع البحر، انحل جزء صغير منه في هذه المياه العميقة الراكدة، فتمكن من السفر في الماء وهو محلول - لكن ربما ليس لمسافات بعيدة. لأن الحديد المنحل إذا قابل الماء المشبع بالأكسجين، في الأعلى قرب مياه السطح، فإنه سيتأكسد من فوره، ويصبح جسيمًا من الصدأ، ويعود فيستقر في قاع البحر. لذلك، فلعل رحلة الحديد كانت قصيرة، وربما لبضعة أمتار وحسب (أو ربما بضعة مليمترات) ولا تبلغ الكيلومترات، فقد سافر من مصدره في الطين قاصدًا موعد لقياه بالكبريت.

وهناك المئات من الفرامبويدات - أو الآلاف منها - في الحصاة. إلا أن البيريت يتشكل في أماكن أخرى أيضًا - وبطريقة ساعدت في المحافظة على بقايا الكائنات الأكبر بكثير جدًّا من الميكروبات. فتحت قاع البحر السيلوري مباشرة، في العالم المجهري لذلك الطين الأسود الطري الذي سيصبح حصاتنا، وربما أسفله ببضعة سنتيمترات وحسب، كانت هناك فراغات، وتجويفات، وحجرات، ومغاور. وفي صورة كاريكاتورية تتفوّق على أي مغارة لعلاء الدين، كانت الكثير من تلك الحفر سرعان ما تصطف على هيئة طبقات سميكة - والواقع أنها غالبًا ما تكون مملوءة عن آخرها - مع بلورات البيريت الذهبية. فتنمو بلورات كبيرة، وبلورات صغيرة، وعناقيد من الفرامبويدات: وهي تنمو بوفرة، مكونةً صواعد ونوازل ذهبية مجهرية في هذه المغارات تحت الأرض.

وهذه المغارات هي الأجزاء الداخلية من الأحافير: خاصة من الأجواف المزخرفة المتناسقة في الغرابتوليتات، وأحيانًا الكيتينيات والأركيتاركات أيضًا. وآلية إنتاج البيريت هي دائمًا نفسها - حيث

تنقسم الكبريتات لتشكل الكبريتيد، الذي يتصل بالحديد المنحل المختزَل كيميائيًّا، وتحتشد الميكروبات التواقة إلى الطاقة في هذه الأوحال لتقوم بدور القابلات والمحفزّات في هذه العملية.

ومن المدهش جدًّا الفعالية التي يصل إليها هذا المصنع الكيميائي: فالحجرات داخل الغرابتوليتيات يمكن أن تكون أحيانًا بعرض مليمترين أو ثلاثة، ويمكن أن تكون ممتلئة عن آخرها بمعدن براق (اللوحة 2هـ). لكن كيف يمكن أن ينتقل هذا القدر الكبير من الحديد والكبريت إلى داخل الأجواف الكهفية في هذه الأحافير؛ مع أن الطين غروي (وليس كما يظن عادة بأنه من المواد النفوذة)؟

إن ذلك الأمر لغز محير. وربما إذا حاول المرء أن يفهم العملية كما تجري، فإنه سيحاول أن يتخيّل نفسه وقد تقلص حجمه إلى «حجم جزيء، كما في فيلم الخيال العلمي القديم «رحلة خيالية (Fantastic Voyage)، ويشعر على جلده بالقوى التي توجه هذه الشوارد الكيميائية. وعند ذلك الحجم، الأصغر حتى من الميكروبات، يكون الماء دبقًا ولزجًا كأنه الدبس. فهل يبقى واقفًا في مكانه بلا حراك؟ ربما لن يفعل. فبمرور فترات من الشهور والسنين، سيكون هناك حركة صاعدة لطيفة، تدفق عظيم - بالنسبة لذلك الحجم - تحت الأرض، ينبع بصورة مستمرة مع انسحاق الأوحال التي تحت طبقة حصاتنا وانضغاطها (وهي بمجملها تصل سماكتها إلى مئات أمتار كثيرة)، وذلك ببساطة تحت ثقلها هي. ويضطر الماء، بما يحمله من الشوارد المنحلة، إلى الخروج إلى الأعلى من بين جسيمات الطين المتراصة بإحكام شديد جدًّا، ليجد طريقه في النهاية إلى الاندماج من جديد مع ماء البحر الذي في الأعلى. وتلك طريقة لإحداث التحول الكيميائي داخل الطين.

وفي فترات أقصر من ذلك، هناك أيضًا ظاهرة تدعى الانتشار الجزيئي. حيث إن الجزيئات المنحلة، وبفضل طاقتها الحرارية الذاتية ببساطة، تقوم باستمرار بالاهتزاز والتصادم والتحرك عبر السائل كمجانين الراقصين الذين يتحركون بغير انتظام في ساحة رقص مزدحمة، أو كأن الأمر مزاحمة في حلبة ألعاب السيارات الكهربائية. وعندما يصدم بعضها بعضًا، تغير مساراتها، ويتبع كلٌّ منها مسارًا عشوائيًّا في عالمها ثلاثي الأبعاد دون المجهري.

وهذه التصادمات نشيطة بما يكفي لهز جسيمات أكبر بصورة مستمرة، جسيمات من قبيل جسيمات الصلصال أو حبيبات الغبار. ويعرف علماء المجهريات هذه الحركة الواضحة، التي تدعى الحركة البراونية. وقد أطلق عليها هذا الاسم نسبةً إلى عالم النبات روبرت براون (Robert Brown)، الذي مات بعد حياة طويلة كلها جدّ وعمل، قبيل تلقي تشارلز داروين أخبار النظرية المستقلة لعالم الطبيعة ألفريد راسل والاس (Alfred Russel Wallace) بشأن تطور الحيوانات والنباتات بالاصطفاء الطبيعي. والواقع أنه في واحدة من غرائب العلم، كان موت براون هو ما ترك مكانًا شاغرًا في برنامج جمعية لينيوس مما مكّن داروين (الذي شجعته نتائج والاس على إنهاء عقود طويلة من التأجيل) من طرح نظريته (ونظرية والاس أيضًا) على الملأ.

كما جرى الاحتفاء ببراون في حياته، نظرًا إلى أنه كان الاسكتلندي الذي تابع بحوثه العلمية «بقلب مخلص وإصرار ثابت». وتلك العبارة، التي بادرنا إلى إضافتها، تشير إلى مستوى اتزانه وحكمته لا إلى فتور شخصيته، فقد كان يحب المناقشة على الطعام، وذات مرة مازح داروين بشأن بعض الملاحظات عن

تدفق السيتوبلازما في الخلايا (فقال مجيبًا عن أسئلة داروين الملحّة: «ذلك سري الدقيق!»). ولم يكن براون أول من لاحظ الظاهرة التي اقترنت باسمه، إلا أنه شرحها وفسرها بتفصيل متميز. لقد كان عالمًا فذًّا بالمجهريات، فلم يكن يكتفي بالملاحظة والشرح للأجزاء المجهرية من النباتات، ومنها غبار الطلع، بل كان يبادر إلى البحث داخل حبيبات غبار الطلع. وبينما كان يدرس ذلك، لاحظ جسيمات حبيبية أصغر حتى منه، بدت له أنها تعيش حياة تخصها، فتتواثب وتتراقص في حركة دائبة.

فهل كان ذلك نشاط الحياة نفسها، قوة الحياة؟ لا، فقد رأى براون النشاط نفسه في حبيبات غبار الطلع الملقاة ميتة في المتاحف لنحو قرن، كما لاحظه أيضًا في الغبار المعدني الجامد. ولم يكن يعلم سبب ذلك الفعل، لكنه علم وبيَّن بوضوح أن تلك القوة تكمن في عالم الفيزياء، لا في عالم الأحياء. وجاء بعض العاملين فيما بعد (وكان منهم ألفريد أينشتاين) ليكتشفوا أن ذلك الفعل كان ناتجًا عن انطلاقات مستمرة عشوائية لجزيئات ماء غير مرئية حول الجسيمات. أما الميكروبات أو الفيروسات، فلم تكن ثمة حياة هادئة لها طبعًا؛ فهي تثار باستمرار بهذه القذائف الجزيئية - والواقع، أن الحركة البراونية تضيف عنصرًا مهمًّا من «السير العشوائي» إلى حركتها يمكِّنها من أن تصادف بفعالية أكبر مناطق غنية بالغذاء في محيطها.

وفي هذا العالم المجهري بالغ الصغر، نجد الحركة البراونية واحدة من القوى التي تحكم عالم الأحياء وعالم الكيمياء. إن الانتشار فعال جدًّا في نشر الشوارد والجزيئات في سائل. وفي حالة حدائق بلورات البيريت، التي تنمو داخل أجواف

الغرابتوليتات، ربما كانت هناك قوة دافعة أخرى. فالانتشار طريقة جيدة لخلط الجزيئات بصورة متساوية في سائل. وعندما يغير شيء ما ذلك، لإحداث أماكن ذات تركيز عالٍ وأخرى ذات تركيز منخفض، فإن الجزيئات والشوارد سينتهي بها الأمر ببساطة، نتيجة سيرها العشوائي المجنون عبر السائل، إلى أن تتوازن في مستويات تركيزها بالتساوي من جديد. وإلى جانب بلورة البيريت النامية، تستمر شوارد الحديد والكبريتيد في الخروج من السائل لتقفز إلى مكان في الشبيكة البلورية الجزيئية. وذلك يعني أن السائل المجاور للبلورة يصبح مستنزفًا من شوارد الحديد والكبريتيد، وبذلك يهاجر المزيد منها إلى هناك آتيًا من السائل خلفها، ليقفز بدوره إلى البلورة النامية... وهكذا دواليك. فذلك نوع من البساط المتحرك الذي ينقل المواد الخام لبناء تمثال، وهو القالب الداخلي لأحافيره.

وهذا بناء سريع. ومن الناحية الجيولوجية، يعدُّ بناءً لحظيًّا. فغالبًا ما يمتلئ الأحفور بأكمله بالمعدن، قبل أن ينضغط بناؤه المرهف ويغدو مسطحًا نتيجة ثقل الطبقات الطينية التي تعلوه، مع تكاثرها فوقه بوساطة تيارات العكارة الآتية من عمليات الحت التي تأكل أفالونيا، فتتراكم الطبقات الطينية على قاع البحر فوق الأحفور. لكن أحيانًا، تستغرق عملية التبلور وقتًا أطول بقليل، وتتكوم الرسوبيات إلى مستويات أعلى وأثقل. ثم يأخذ الأحفور بالالتواء والتشوه، قبل أن يتشكل ما يكفي من البيريت داخلها ليدعم جدرانها المرهفة في وجه ضغط كتلة الرسوبيات المتنامية. ويمكن أن يشاهد هذا في قالب الأحفور، الذي لم يعد ثلاثي الأبعاد بالكامل بل أصبح مسطحًا بعض التسطح - ويتجمد في وضعه تمامًا في اللحظة التي يتشكل فيها معدن كافٍ لحماية الأحفورة من أي

ضغوط إضافية. فتلك الضغوط، كما سنراها، ستصبح ضغوطًا هائلة جدًّا. إلا أن البيريت سيحفظ الغرابتوليتات آمنة من كل تلك الضغوط، لملايين من السنين. إنه خير صديق للأحافير.

وهو كذلك خير صديق لعالم الأحافير، فهو يجعل الأحافير بادية للعيان إلى أبعد الحدود (وبصورة جميلة تمامًا أيضًا)، فالبريق الذهبي المغاير للون الرمادي للصخور يشع عندما تتفتت الشريحة المكربنة الهشة من مادة الأحفورة نفسها. ولعل دقة العملية يمكن أن تشاهد بصورة أكثر وضوحًا إذا جرى تعريض الحصاة للأشعة السينية، حيث تبدو الغرابتوليتات من خلالها ظلالًا دخانية داكنة، كل منها حجرة مرتبة زاهية، تمتلئ بالتساوي بالبيريت الكثيف، وفي المستعمرة كلها. والواقع أن التنقيب الفيزيائي عن هذه الأحافير في الصخور صعب للغاية ويستهلك الكثير من الوقت، بحيث إن المشهد اللحظي لحشد جميل من الأحافير سيكون كأنه الصدمة. فغالبًا ما يكون من المفاجئ أن تلتقط الأشعة السينية كائنات الأحافير المرهفة والضئيلة جدًّا التي كانت تخطئها العين ببساطة على سطح الصخور، حتى بعد أسابيع وأشهر من تفحصها تفحصًا قريبًا ومتأنيًا. ومن ناحية أخرى، نعلم أن المفاجآت هي ما يميز كوكب الأرض، ويملأ خزائنه العامرة.

## عبور الحدود

تحت بضعة مليمترات من أشرطة الرقائق الناعمة والمتوازية تقريبًا في حصاتنا، قد يلمح المرء ظلًّا داكنًا باهتًا، أكثر دُكنةً من

اللون الرمادي للصخر الطيني. وإذا نظرنا إلى الحَصَيات المتناثرة من حولنا، نرى أن الحَصَيات الأخريات لها الأشرطة نفسها، وكلٌّ منها بسماكة بضعة مليمترات وحسب - وهي غير محددة تمامًا، بل هي تخفت ممتزجة بألوان الصخر الطيني الطبيعية. وعندما نمشي إلى أعلى الشاطئ، إلى حيث قذفت الأمواج الحصى، معرضةً إياها للرياح والأمطار لسنوات متعددة - هناك، نجد تلك الأشرطة خافتة، تتحول إلى لون شاحب، وبعضها تحول تمامًا إلى اللون الأبيض.

ولننظر باستخدام العين السحرية في مجهر المسح الإلكتروني إلى سطح مصقول ناعم من شريط داكن - يخالطه البياض. ستبدو الحبيبات الصغيرة جدًّا المكوّنة للصخر الطيني كأنها مرصوصة بقبضة محكمة بوساطة ملاط ناصع. وهو ليس من الملاط المرتكز على الكلس الذي نستخدمه في تثبيت أحجار أبنيتنا، بل هو مصنوع من الأباتيت المعدني، الذي تركيبه الكيميائي من فوسفات الكالسيوم - وهي المادة نفسها التي بنيت منها عظامنا. وقد تشكل الأباتيت، كأنه هلام للتقسية السريعة مكونٌ من البلورات المجهرية، تحت سنتيمتر أو اثنين من قاع البحر، وهو يبين لنا حدًّا عبَره طين الحصاة عندما شرع في الانحدار إلى منطقة ما تحت الأرض - وهو حدٌّ جرى عبوره تقريبًا في الوقت نفسه الذي أخذت فيه الغرابتوليتات تمتلئ بالذهب الزائف.

وهذا الحد هو الحدّ الذي يظهر الآن، في كل أرجاء الأرض. إنه يحدد المستوى - حدّ الأكسدة والاختزال - الذي يفصل العالم الغني بالأكسجين عند السطح، عن العالم المعوز للأكسجين المختزل كيميائيًّا القابع تحته. وغالبًا ما يرتسم مباشرة تحت السطح. فإذا

حفرنا اليوم في رمال الشاطئ أو مسطحاته الطينية، وبعمق مجرفة أو اثنتين تحت سطح الرسوبيات النقي الشاحب، سنجد هناك عادة ترسبات داكنة وكريهة الرائحة جدًّا؛ تغمرها رائحة كبريتيد الهدروجين التي تشبه رائحة البيض الفاسد. وعند هذا الحد الكيميائي، تتركز المعادن. فمباشرة تحت قاع البحر اليوم، غالبًا ما توجد خصوبة اليورانيوم في هذا المدى، لأن هذا العنصر يميل إلى الذوبان نسبيًّا عندما يتأكسد، لكنه لا يذوب في ظروف الاختزال، وكذلك هي الرواسب عند حد الأكسدة والاختزال.

وفي قيعان البحر السيلوري في ويلز، يرسب الفوسفات عند هذا الحد، آتيًا من المادة العضوية المتحللة الوافرة في الرسوبيات المدفونة. لقد تشكلت طبقات الأباتيت بوفرة تحت قيعان البحر تلك، حيث كان هناك أكسجين كافٍ لتمكين الديدان الحفارة من بناء مستعمراتها؛ بحيث أدت إلى أكبر تباين كيميائي مع الأوحال الراكدة تحتها مباشرة. لكنها يمكن أن تظهر أيضًا مباشرة تحت الطبقات المترققة من قاع البحر الهادئ «المعوز للأكسجين»، وذلك محتمل لأنه كان لا يزال هناك تباين كبير بين السطح غير المضياف والأوحال التي لا تزال تختزل بشدة تحت السطح ببضعة سنتيمترات فقط.

إذن، هل آثار هذه الطبقات التي ملطت بالأباتيت من تناقض بين عالمين كيميائيين - في سلسلة من ساحات حروب الأكسدة والاختزال، قد دفنت على نحو متتالٍ، ثم عادت للتشكل مرة أخرى في مستوًى أعلى بقليل، حيث كان كل تيار عكارة تالٍ ينشر أيضًا بساطًا من الطين فوق قاع البحر؟ لعل الأمر لم يكن بتلك البساطة. فالطبقات البحرية للأكسدة والاختزال اليوم يلفها الغموض الشديد،

غموض ربما تفسره القدرات غير الاعتيادية للميكروبات الاجتماعية جدًّا.

ومع تغير الظروف فوق قيعان البحر اليوم - من قبيل زيادة غنى مياه البحر بالأكسجين أو نقصانه - فإن ذلك التغير ينتقل إلى الرسوبيات على بعد بضعة سنتيمترات تحت قاع البحر. وقد يبدو ذلك طبيعيًّا، ويفسَّر بالانتشار البسيط للمواد الكيميائية من مياه البحر إلى الرسوبيات. إلا أن سرعة بدء تفاعل الرسوبيات المدفونة مع التغيرات في الماء فوقها هي سرعة غير طبيعية إلى حدٍّ بعيد، لأن التغيرات في الرسوبيات، بالملاحظة الدقيقة، هي أسرع بكثير من أن تفسر بالانتشار البسيط. إذن فهناك شيء ما ينقل هذه التغيرات بسرعة البرق إلى الرسوبيات في الأسفل. وأفضل اقتراح لذلك «الشيء» الغامض هو البكتيريا التي تعمل بانسجام، مكوِّنةً سلسلة من التواصل الكيميائي الكهربائي عبر نحو عشرة آلاف من أطوال أجسادها (وبالنسبة لبعض الكائنات، يعدُّ السنتيمتر الواحد مسافة بعيدة جدًّا).

وذلك مثال آخر للشبكات الميكروبية بالغة التعقيد والدقة التي تحيط بنا - وتدعمنا - من كل جانب. إنها أشياء تمر بنا دائمًا على الأغلب مرور الكرام دون أن ندركها، ومعظمها لم نكتشفه بعد. فهل كانت هذه الأجزاء المتكاملة للمرحِّلات الميكروبية ذات السرعة العالية، لمصانع الأباتيت السيلورية هذه، موجودة؟ إن عدم وجودها سيكون لا محالة مفاجأة غير متوقعة. فبالنسبة للميكروبات، وبخلاف الكائنات متعددة الخلايا المتأخرة الأقل براعة، فقد أمضت ثلاثة مليارات سنة في تحسين أنظمتها في القيادة والتحكم. وعندما جاء العصر السيلوري، كانت موجودة

قبله، وكانت بارعة بدقة بالغة جدًّا، ولها قدرة كافية حتمًا، لتترك ظلًّا على حصاة يمكن أن يصمد نصف مليار سنة.

## الميثان الخفي

سنمضي قدمًا، 10.000 سنة مثلًا. وذلك تقريبًا هو الزمن الذي يفصلنا عن نهاية آخر عصر جليدي، أو هو خمسة أضعاف الزمن الذي يفصلنا عن الإمبراطورية الرومانية. إلا أنه هنا زمن لحظيٌّ؛ في بداية الرحلة الطويلة لمادة الحصاة التي أوصلتها إلى باطن الأرض. لكن ليس إلى مركز الأرض - فلن تمضي إلى حد الاقتراب منه - بل هي ستذهب مسافة تكفي للطين الطري ليتحوّل إلى صخر صلب يصلح لتغطية أسطحة المنازل. وبعد ذلك بوقت طويل جدًّا، سوف تعود إلى سطح الأرض من جديد.

لكن هنا، هي الآن على بعد نحو 10 أمتار تحت قاع البحر، الذي غطته بضعة مئات من طبقات طينية مفردة لها سماكة بالسنتيمترات آتية من تيارات العكارة، وغطته آلاف متعددة من أعفار الطين الناعم من تصعدات الكدارة بطيئة الحركة، ناهيك عن الملايين الكثيرة من الجثث الصغيرة جدًّا المتحللة التي استقرت آتيةً من مياه السطح المشمسة في الأعلى. ولا تزال الميكروبات هناك في الطبقة الصخرية للحصاة - مع أنها ميكروبات مختلفة، بعد أن ذهب عنها الآن ثاني أفضل مصدر للطاقة. والسائل بين رقائق الطين وحبيبات الرمل الناعمة مستنزف الآن من الكبريت، وكذلك فإن مصنع الذهب الزائف قد

أغلق أبوابه، وبدأ مصنع آخر. فهناك عدد أقل من الميكروبات الآن، وهي تعيش وتنمو وتتكاثر ببطء أكبر، فالحياة هنا باتت أكثر صعوبة.

والمصدر الرئيس للحصول على الطاقة والغذاء الآن هو المواد العضوية المدفونة. لكن ليست كلها. فمادة الغرابتوليتات والكيتينيات والأركيتاركات، غير القابلة للتلف تقريبًا، لم تتغير كثيرًا إلى الآن، مع أنها ربما بدأت في التحول، تاركةً شفافيتها الأصلية، لتكتسب صبغة ضاربة إلى الصفرة، مثل البولي إيثيلين المتروك طويلًا تحت الشمس. إن مصدر الطاقة هو مادة أخرى، إنه الآلية القديمة المعقدة جدًّا للخلايا الحية، إنه الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، وكذلك الرَّنا (الحمض الريبي النووي) والدَّنا (الحمض الريبي النووي منزوع الأكسجين). وكل ذلك اليوم حطام، مجرد ساحة خردة مجهرية، فيها جزيئات عضوية تفككت، وهضمت مرة بعد أخرى، وفي كل مرة تصبح أبسط وأصغر، وتصبح أكثر غنًى بالكربون وأشد افتقارًا إلى الهدروجين، والأكسجين، والنتروجين - إلا أنها ما زالت قادرة على أن تكون وجبات خفيفة لأجيال من البكتيريا واسعة الحيلة.

وعند هذا العمق، تقوم البكتيريا بتخمير ما بقي، فتفككه أكثر وأكثر، وتطلق ثاني أكسيد الكربون والميثان؛ الذي يتسرب ببطء عائدًا إلى السطح. وحتى هنا، نراها تدقق في اختياراتها، فتختار النظائر الأثقل من الكربون لتضعها في ثاني أكسيد الكربون، وتقوم بتركيز النظائر الأخف في الميثان. ولا تصل كل تلك الغازات إلى قاع البحر - على الأقل لا تصل إليه مباشرة. فبعض ثاني أكسيد الكربون قد يصادف في الأوحال المدفونة بقعًا قلوية

غنية بالكالسيوم، فيتفاعل معها لينشئ عُقَيدات قاسية شبه إسمنتية من كربونات الكالسيوم، يمكن أن تكون بعرض عشرات السنتيمترات - مع أن هذه العجيرات نادرة في هذه الصخور الطينية المعروفة بفقرها بالكالسيوم في ويلز.

ولعل من المرجح أن الميثان كانت له سيرة يشارك فيها بصورة أكبر في الوسط المحيط حول الحصاة - مع أنه لم يترك أي أثر مميز - وببساطة فليست سيرته إلا قصة (يكون فيها شبحًا حقيقيًّا غير ظاهر تمامًا إلى حد الآن) نفترض أنها مقبولة، بالاعتماد على تصرف هذا الغاز في أوحال أعماق البحر اليوم.

وتحت أجزاء من قاع البحر اليوم، في بضعة مئات من الأمتار تحت السطح، لا يعود الميثان غازًا. فعندما يكون ضغط الطين والماء فوق الميثان كبيرًا بدرجة كافية، وهو ليس دافئًا جدًّا، فإنه يتصلب. حيث يصبح مادة شمعية كثيفة داخل الرسوبيات، تكون فيها جزيئات الميثان محتجزة في بنية تشبه القفص من جليد الماء. وإذا حفرنا لإخراج شيء منها إلى السطح، فسيختفي تصلبها عند الضغط الجوي النظامي، وستفور وتتصدع وتفرقع - وستحترق أيضًا إذا أشعلنا عود ثقاب إلى جانبها. وهي تدعى كلاثرات الميثان (أو هيدرات الميثان). وبالنسبة للناس اليوم، فهي من جهة مبشرة بخير (وقود محتمل)، ومن جهة أخرى منذرة بسوء (إذا أصبحت مساحات واسعة من الكلاثرات غير مستقرة، في مناخ يزداد دفئًا على سبيل المثال، فمن المحتمل أن تطلق كميات كبيرة من الميثان إلى الجو - والميثان غاز فعال من غازات الدفيئة).

إن الطبقات التي تحت قاع البحر من كلاثرات الميثان هي اليوم غير ثابتة. فهي تهاجر ببطء لتستقر في مناطق تكون فيها درجة الحرارة والضغط مناسبة تمامًا لتمكِّنها من البقاء صلبة. ومع تراكم الرسوبيات على السطح يزداد الضغط، مما يمكن الكلاثرات من التمدد إلى الأعلى أكثر فأكثر في كومة من الأوحال المتراكمة. لكن هذا أيضًا يدفع الجزء الأسفل من الكلاثرات إلى مناطق تزداد دفئًا، من جراء الحرارة الآتية من تحت الأرض. وبذلك تعود الكلاثرات فتتحول إلى غاز، وتهاجر إلى الأعلى إلى مناطق أكثر برودة يمكنها النفاذ منها، أو التصلب مرة أخرى. وبذلك فإن «طبقة» الميثان بأكملها تهاجر إلى الأعلى لتبقى بحذاء الرسوبيات، فتبقى تقريبًا عند المستوى نفسه تحت قاع البحر.

ومع كون رقعة الطين لحصاتنا مدفونة في أكبر عمق لها مرت به، تنحدر منه ببطء في أعماق الأرض، فهل أمضت بضع عشرات أو مئات من آلاف السنين في منطقة الكلاثرات، تغمرها كتلة شمعية من الميثان المتصلب؟ يبدو ذلك ممكنًا، فأوحال ويلز هذه كانت غنية بالمواد العضوية، وكانت تنتج الميثان بكميات كبيرة. فهل يمكننا أن نعلم ذلك من النظر إلى الصخور؟ هذا أمر صعب، فهناك علامات قليلة على شبح الكلاثرات القديمة. فهل يسعنا أن نعلم ذلك من بعض التخلخل في الطبقات؟ ذلك ممكن - إذا كان تشكل الكلاثرات واختفاؤها بعد ذلك يسبب تمددًا يتبعه تقلص في كتلة الرسوبيات. ومن المؤكد أننا نشاهد التخلخل في الطبقات الصخرية بكثرة وافرة في الصخور الطينية بويلز، وذلك مثلًا عندما تنزلق طبقة فوق أخرى والرسوبيات ما زالت طرية - لكن حينذاك فإن بعض تلك السمات يمكن أن تظهر أيضًا إذا انزلقت ببساطة رسوبيات السطح على قاع بحر منحدر بتأثير

الجاذبية، دون أن يكون هناك أي ميثان بالمرة. وهنا يواجهنا لغز آخر في تاريخ الحصاة، علينا حله (كما نأمل) بمزيد من الدراسة.

فتحت منطقة الكلاثرات، مرت آلاف السنين، ألفٌ في إثر أخرى. وبعد 100000 سنة فرضًا، يمكننا أن نقوم بالجرد. فالحصاة الآن مدفونة تحت أكثر من 100 متر من الطين والرمل. ومن الواضح أنها أكثر دفئًا، بنحو 3 درجات. والطين أكثر انضغاطًا، فقد خرج منه جزء كبير من الماء، لكنه ليس صخرًا قاسيًا بعدُ على الإطلاق. ولو كان بوسع المرء بطريقة ما أن يعود في الزمان والمكان ليقتلعها من المكان المدفونة فيه، لوجد أنها مطواعٌ يمكن قولبتها بأصابع اليدين. وما زالت حية - إلا أن الميكروبات الآن أصبحت أقل بكثير، وتقتات ببطء شديد على غذاء تزداد صعوبة هضمه أكثر من أي وقت مضى (ويتضمن الغذاء جاراتها الميتة)، فربما تتناول وجبتها مرة في السنة، بدلًا من أن تتناول وجبة كل بضع ساعات. ومع ذلك فالسائل الذي ينساب خلالها يتحرك ببطء شديد جدًّا باتجاه الأعلى.

ويمكن لنا أن نتصور الآن شكلها في الطبقات الصخرية المدفونة، فهي أطول من الحصاة التي بين أيدينا، بنحو 50%، وأكثر سمكًا بالقدر نفسه تقريبًا. والغرابتوليتات والكيتينيات والأركيتاركات الأحفورية لها مسحة ضاربة إلى الصفرة أكثر بقليل مما كانت عليه، لكنها ما زالت شبه شفافة. وبعضها يملؤه البيريت، بهشاشته ولمعانه ولونه الذهبي، كما كان حين تشكله. وبعضها يملؤه البيريت بصورة جزئية وحسب، وهنا يكون الفراغ المتبقي داخل الأحفور ممتلئًا بالسائل نفسه الذي ما زال يخترق الطين المتراص. وهكذا يستمر الأمر، ألف سنة بعد أخرى، ويتقلص

حجم مكوّنات الحصاة. وببطء شديد كأشد ما يكون البطء، يصبح الصخر الطيني أكثر قساوة مع تكوُّن ثقل أكبر أعلاه، كما أنه يصبح أدفأ أيضًا، بدرجة مئوية واحدة كل بضع عشرات آلاف السنين. ويزداد هزال الميكروبات الحية ببطء، وتأخذ حياتها البطيئة إلى حد التجمد في الخفوت، ميكروبًا في إثر آخر (مع أنها ستستغرق الكثير من آلاف السنين لتموت عن آخرها).

وهناك تغييرات أخرى تحدث الآن ببطء شديد، بحيث إننا لا نكاد نلحظ التغييرات بين ألف سنة وأخرى. فالمواد المعدنية في الحصاة تبدأ في التحول. فوسط الرسوبيات تكون المعادن المنجرفة إلى الحطام غير مرتاحة في هذا الوسط الدافئ المنقوع في الماء. فالفلسبارات على سبيل المثال، وهي في الأصل سليكات الألمنيوم التي شكلتها الصهارة من البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم، تتفكك ببطء، وتتحلل. فالمياه الدافئة، الأكثر حامضية بقليل من المواد العضوية الباقية، تفكك ببطء البنيات الجزيئية، تاركة أطر سليكات الألمنيوم معادنَ غضارية جديدة، تنمو داخل الطبقات الصخرية عميقًا تحت قاع البحر. وتنطلق الشوارد، شوارد البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم، منحلة في السوائل المنسابة ببطء.

وبعضها لا يسافر بعيدًا. فالبوتاسيوم على وجه الخصوص، يمكن أن يتفاعل مع معادن أخرى، مثل غضاريات الاسمكتيت الغنية بالمغنزيوم، ليشرع في تحويلها إلى معدن الإليت الغضاري، وهو معدن بوتاسي. وهذه ليست إلا بداية عمليةٍ طويلة من التحول تحت الأرض لمعادن غضارية ستجري على مر ملايين السنين، إلى أن تتحول بالكامل مع الصخر (وحصاتنا منه).

وفي هذه المرحلة، يمكننا أن ننسل مبتعدين نحو بضعة مئات آلاف السنين، وأكثر، فلا شيء جديدًا سيحدث في هذه الفترة - مما ندركه على الأقل - إلى أن تصل الحصاة إلى مرحلة معينة يمكن لنا أن نقول إنها مرحلة النضوج. وفي وصولها إلى هذا النضوج تحدث أشياء مفاجئة. ولنعد إلى وداع مرحلة المراهقة لحصاتنا: نهاية مرحلة الطين وبداية مرحلة الصخر.


10

# نافذة النفط

أتربة نادرة

ومضت بعد ذلك بضعة ملايين من السنين - ربما ثلاثة ملايين سنة، وربما خمسة ملايين سنة. والرسوبيات تتدفق على قاع البحر السيلوري الذي سيصبح، بعد وقت أطول، مقطَّعًا في شرائح بوساطة بحر آخر، ويصبح الخطُّ الساحلي المتجعد الذي تحده الجروف في وسط ويلز. إنها تتدفق بسماكة كبيرة وسرعة كبيرة بحيث إن مكونات حصاتنا الآن أصبحت تحت قاع البحر بنحو كيلومترين أو أكثر.

إنها عملية دفن سريعة جدًّا، حتى بالمقاييس الجيولوجية، ولنا أن نعد التغييرات الجغرافية مسؤولة عن ذلك. ولإنتاج الكثير من الرسوبيات، نحتاج إلى الكثير من الحت، بالإضافة إلى إنتاج شيء يمكن أن يتأثر بعوامل الحت - وهو الهضاب والجبال على اليابسة. فعلى الأرض، تنتج الطبوغرافيا بمساعدة آلة بديعة من العمليات التكتونية في الصفائح. وفي ذلك الوقت، كان المحيط الذي يفصل أفالونيا عن اسكتلندا، الذي ندعوه بحر إيابيتوس، على وشك الانغلاق، وكتلتا البر الكبيرتان هاتان كانتا آخذتين في نكز بعضهما بعضًا. فكان ما ندعوه بالاصطدام الطري، وهو ما يحدث عندما يكون الضغط بين قارتين متجاورتين كافيًا تمامًا لتبدأ أقسام من القشرة الأرضية بالاندفاع إلى الأعلى، ويحدث ما يكافئه من

الاندفاع إلى الأسفل، في مواضع مختلفة - لكنه ليس كافيًا للتغضن الكبير الذي يحدث عند نشوء السلاسل الجبلية العظيمة. وهكذا فإن كتلة البر التي كانت حينذاك في ويلز الجنوبية اليوم، وجنوبها، كانت تساق باتجاه الأعلى، في حين أن قاع البحر الذي كان يغطي ويلز حينذاك كان يرغَم على الاتجاه إلى الأسفل. والفيض الناتج من الرسوبيات كان الوسيلة الطبيعية في السعي لاسترجاع التوازن.

وهنا يرتبط النمط الخاص لضغط مكوّنات الحصاة بتلك التحركات الهائلة الغامضة للقارات على مسافة مئات وآلاف الكيلومترات. وكانت تلك تحركات غامضة بلا ريب، فعقب الاصطدام الطري لا بد أنه تبعه الاصطدام القاسي ونشوء الجبال. لكن ذلك لم يحدث. فلم تنشأ الجبال إلا أخيرًا بعد ملايين كثيرة من السنين. وجبال ويلز أصغر بقليل فعلًا مما كان يجب أن تكون عليه - ولذلك فلا بد لنا من تعليق قصتنا. فهناك قصة أخرى تظهر في الانعزال الباهر عن ذلك العنف التكتوني. وهو ما سنأتي عليه الآن.

فعلى عمق كيلومترات قليلة، نرى درجة حرارة ما تكون عليها حصاتنا؛ فهي الآن قريبة من 100 درجة مئوية، وهي في ازدياد. إلا أنه ما زال هناك بعض الماء في الفراغات التي تفصل جسيمات الطين المتراصة بإحكام، غير أنها لا تغلي، فقد منعها من الغليان الضغط العالي الذي يولده غطاء الرسوبيات العملاق.

فهل ما زالت فيها حياة؟ إن ميكروبات ما تحت الأرض ربما كانت هنا تعيش على تخوم بقائها. وليست درجة الحرارة 100

مئوية هي ما يعيق الميكروبات عند السطح، فهناك بعض «أليفات الظروف القاسية» من البكتيريا يمكنها أن تعيش عند درجات حرارة لا تقل عن 113 درجة مئوية بقرب السطح، حول الفوهات البركانية تحت سطح البحر. لكن هنا في أعماق الصخور، فإن اجتماع الحرارة العالية ونقص الغذاء ربما يغدو ظرفًا بالغ القسوة حتى لتلك الكائنات المطواعة. فهنا ينتهي علم البيولوجيا، ليفسح المجال أمام علوم الفيزياء والكيمياء لتكون لهما السلطة الكاملة؛ في هذا العالم.

والكيمياء هنا هي كيمياء غريبة أيضًا. فلنتفحص الحصاة الآن، تفحصًا دقيقًا دقيقًا، بعدسة مكبّرة. ولنركز على الطبقات الداكنة، تلك الطبقات التي لها خطوط ناعمة تسجل الاستقرار البطيء للعوالق في قاع البحر. وفي مكان ما سنجد نقرةً تكاد لا ترى، بعرض مليمتر في أحسن الأحوال. وهي علامة لرقعة صغيرة جدًّا في الصخر أكثر مقاومةً بقليل مما يحيط بها. وتبدو كأنها كانت شيئًا ما - عنقودًا من حبيبات الطمي، أو عنقودًا من فرامبويدات البيريت - شيئًا طبيعيًّا جدًّا على أي حال.

إنها ليست طبيعية. فلنقم بوضع الحصاة في حجرة مجهر المسح الإلكتروني (ويكاد حجمها يكون مناسبًا لها) ولنركز شعاع الإلكترونات عليها، ونضبط الجهاز ليقوم بالتحليل الكيميائي للنقرة الصغيرة جدًّا، لا تحليل شكلها. سنجد فيها الفوسفور، وهو غير متوقع إلى حدٍّ ما، مع أن ما يحدث بذلك الفوسفور هو المفاجأة الحقيقية. كما سنجد فيها اللانثانوم، والسيريوم، والنيوديميوم، والسماريوم. ونجد اليوروبيوم، والغادولينيوم، وكذلك نجد (هنا تكون الآلة تعمل عند حدود قدراتها التحليلية) الإيتربيوم،

واللوتيشيوم، وغيرها. إنه حشد كبير من العناصر. وهي لا تظهر كثيرًا في أحاديثنا اليومية (مع أننا عرفنا اثنين منها فيما سبق؛ هما الساماريوم والنيوديميوم)، إلا ربما في أحاديث الكيميائيين ذوي التخصص العميق.

وكل تلك العناصر من الأتربة النادرة، وقد اجتمعت مع الفوسفور لتكوِّن معدن المونازيت (اللوحة 3أ). ولا شك أن أمرًا غريبًا يجري هناك. فالعناصر الأرضية النادرة هي حشد فريد، ووصفها بالأرضية النادرة غير ملائم لها بعض الشيء. فهي ليست نادرة بشدة (مثلًا كالندرة الحقيقية للبلاتين والأسميوم)، ومن الواضح أنها ليست أرضية. إلا أنها قطعًا عناصر كيميائية، وهي تشغل صفًّا في الجدول الدوري للعناصر، وهو الاكتشاف الأنيق لماندلييف، مترابطةً بإحكام كأشد ما يكون الترابط في عائلات البشر. فخصائص بعضها تشبه بصورة واضحة خصائص بعضها الآخر، وهو السبب في أننا نجدها غالبًا معًا، إذا وجدناها طبعًا.

والمونازيت ليس عنصرًا نادرًا كغيره. بل هو غالبًا معدن ثانوي في الغرانيت، الذي تبلور من تبرد الصهارة الغنية بالسليكا. لكن بخلاف الكالسيت والبيريت مثلًا، فهو غير معروف بالتشكل على هيئة بلورات في الظروف القريبة من السطح - وعمقُ كيلومترين تحت السطح في كومة من الطين المضغوط يعدُّ بالفعل عمقًا قريبًا من السطح، وذلك بالمقياس الكبير للأشياء. وذلك لأن العناصر الأرضية النادرة غالبًا ما يجدها المرء قريبة من أن تكون غير ذوابة في الماء؛ لذلك فلا يتوقع المرء منها أن تنحل من جسيمات الرسوبيات، ثم تتكثف على هيئة بلورات في مكان آخر من الصخر.

فهل هذه المونازيتات ببساطة بلورات تحاتت من الغرانيت، كحال الزركونات؟ حسنًا، لا، لأنها كبيرة بالحجم الذي تصل إليه البلورات -يصل عرضها حتى المليمتر الواحد، كما أن وزنها ثقيل. وقد يتوقع المرء أن يجد مثل هذه الجسيمات الكبيرة والكثيفة في الطبقات الرملية الخشنة من الحصاة، جاءت بها تيارات قوية- لكن ليس في الطبقات الناعمة الغنية بالعوالق. وإذا نظرنا عن قرب أكبر مستخدمين أشعة الإلكترونات، فستظهر لنا شوائب كثيرة في بلورة المونازيت: إنها جسيمات من الغضار والطمي. لذلك فإن هذه المونازيتات ليست فتاتًا من التحات، بل هي تبلورت داخل الطين، وابتلعت حبيبات الرسوبيات مع النمو البطيء للمعدن الجديد من حولها.

وهذا لغز كيميائي تمامًا. فحصاتنا تحمل بيّنة واضحة على أن العناصر التي تكون في الحالة الطبيعية غير ذوابة إلى حدٍّ كبير، كانت في الواقع وبطريقة ما منحلة في الطبقات الطينية، ثم تبلورت من المحلول لتشكل معدنًا يترافق عادةً مع الصهارة. وبالنسبة للجيولوجيين يعد هذا الأمر سوء حظ مضاعف. فالعناصر الأرضية النادرة كانت تعد لفترة طويلة عناصر غير ذوابة بشدة عند سطح الأرض، وعندما تتحات مثلًا من الجبال، وتحمَل لآلاف الكيلومترات داخل الرسوبيات، إلى داخل الطين في أعماق البحر في مكان ما، فإنها لا يمكن أن تفرَز أو تعزل، بل ستحتفظ بذاكرة كيميائية عن تلك الجبال الأصلية التي خرجت منها. ولذلك فهي تستخدَم على نطاق واسع عناصرَ تعقُّب، لمعرفة المكان الذي جاءت منه الحبيبات التي تشكل الطبقات الصخرية، وتحديد الأصل الأول للصخر في الوشاح الأرضي - كما رأينا في الفصل الثاني. ولتتحرك تلك العناصر داخل الطبقات الطينية بتلك

الصورة السائبة يعني أن العناصر الأرضية النادرة يمكن أن يعاد خلطها لإنشاء أنماط كيميائية مختلفة، وبذلك تكون أنماطًا مضللة إلى حدٍّ بعيد.

والحق أن هذه الأنماط المختلفة تلاحظ مباشرة داخل بلورة مونازيت واحدة. فأشعة الإلكترونات التي تتحرك عبر مركز البلورة إلى حافتها، بمسافة نصف مليمتر بينهما، تظهر لنا أن نسبة العناصر المختلفة تتغير بصورة مثيرة مع نمو البلورة. ففي المركز، الجزء الأول تشكلًا في البلورة، تكثر العناصر الأرضية النادرة الأثقل (التي لها عدد أكبر من البروتونات والنيوترونات في نواتها)، مثل الغادولينيوم، والديسبروزيوم. وعند الاتجاه بعيدًا عن المركز، تهوي مقادير هذه العناصر الثقيلة، وتكون حافة البلورة غالبًا مكونة من العناصر الأرضية النادرة الأخف مثل السيريوم واللانثانوم. لذلك فمع نمو البلورة يتغير تركيب السائل الذي تبلورت منه بشدة بالغة. فداخل البلورة هناك تقرير محفوظ يوثق الظروف المتغيرة في لب كتلة هائلة من الطين عميقًا تحت قاع البحر القديم.

لكن كيف حدثت هذه الهجرة الكيميائية الكبيرة والتنظيم الكيميائي المجمل؟ نحن بحاجة إلى علامات أخرى للإجابة عن هذا السؤال. ولعلنا نعود مثلًا إلى تحليل الحصاة بالأشعة السينية. فهناك، بين الصور الباهتة للغرابتوليتات، نجد بلورات المونازيت: نقرات شاحبة صغير جدًا، أكثر صدًّا للأشعة السينية من الصخر المحيط بها. وهذه، حالها كحال الغرابتوليتات، تظهر محتشدة في الطبقات الداكنة الغنية بالعوالق. وبالمقابل، يظهر القليل جدًّا من بلورات

المونازيت في الأشرطة الأكثر شحوبًا من الطين المعدني، وهي التي ألقتها تيارات العكارة المندفعة.

إذن فقد وجدنا علامة - فالمونازيتات لها ألفة بطريقة ما بالمواد العضوية في الطبقات الغنية بالعوالق. لكن من أين أتت العناصر الأرضية النادرة، لتشكل كل هذه البلورات؟ لعل المرء يضحي هنا بالحصاة (مرة أخرى!)، فيقطع منها بحذر الطبقات الداكنة الغنية بالكربون، والطبقات الشاحبة الفقيرة بالكربون، ويقوم بتحليل كيميائي منفصل لكلٍ منها، ليرى درجة غنى كلٍّ منها بالعناصر الأرضية النادرة. وسيجد نمطًا مفاجئًا: فالطبقات الداكنة محشوة تمامًا بالعناصر الأرضية النادرة، بعشرة أضعاف أو أكثر من الكمية التي نجدها في الطين العادي. لكن الطبقات الشاحبة مستنزفة بوضوح من العناصر الأرضية النادرة، فهي تحتوي كميات أقل مما نجده في الطين العادي. فإذا جمعنا النتيجتين معًا، وجدنا أن الصخرة بمجملها تحتوي كميات طبيعية شائعة جدًّا من العناصر الأرضية النادرة.

لذلك فلا بد أن تكون العملية إعادة توزيع كبيرة، تنقل هذه العناصر من طبقات فقيرة بالمواد العضوية إلى طبقات غنية بالمواد العضوية، عميقًا داخل الصخر. فما الذي قام بهذا النقل؟ حسنًا، لا بد أن أحد العوامل في ذلك هو الماء، الحار جدًّا الآن، الذي ما زال ينساب عبر كتلة الطين بأكملها، فيصفَّى ببطء شديد بوساطة جسيمات الرسوبيات المتراصة الآن بإحكام، حيث ينضغط الطين إلى حد الجفاف أكثر من أي وقت مضى تحت تأثير ثقله الهائل. وبذلك يمكنه أن يحل المادة في الطبقات الدنيا، ويحملها معه في المحلول، ثم يمكن أن تتكثف المادة مرة أخرى

في الطبقات العليا، حيث تكون الظروف مختلفة. ويبدو أن شيئًا من ذلك القبيل قد أثر في العناصر الأرضية النادرة. لكن هذه العناصر، إذا كنت تذكر، هي عناصر غير ذوابة إلى حدٍّ بعيد في حالتها الطبيعية. فهل هناك شيء من عامل مجهول في الأمر، ساعدها في رحلتها الطويلة؟

## إقليم نفطي

لا بد أنه كانت هناك ظاهرة أخرى، ظاهرة مهمة جدًّا تحدث آنذاك. إلا أن البينة ما زالت ظرفية بعض الشيء إلى الآن، لكننا نظن أن لها دورًا في النقل المهم الكبير لعناصر كيميائية لا يمكن نقلها في الظروف الطبيعية، وربما كان لها دور في أشياء أخرى. فبالنسبة لمكونات الحصاة، وكل الطبقة المحيطة بها، فإنها كانت ستمضي عبر نافذة النفط.

فالنفط هو أكثر مادة غيرت شكل حياتنا عبر قرن مضى. فهو أفضل مصدر ملائم للطاقة؛ حيث من السهل استخراجه في أنابيب من الأرض، ثم نقله، والتحكم به - إنه الوقود الذي اختارته المدنية الحديثة. وطبعًا له جوانب سلبية - فكل ذلك الكربون، عندما يحترق، سيذهب إلى مكان ما. إلا أن الأنغام المغوية للنفط كانت جميلة جدًّا، فعُدَّت تلك الجوانب حتى الآن ذات أهمية ثانوية (إذا كان لها أهمية أصلًا!). وبذلك كان النفط موضع اهتمام كبير لكثير من الناس؛ لأسباب ليس أقلها طبيعة تكونه، قبل زمن بعيد سحيق في الأعماق تحت الأرض.

لقد أنتجت حصاتنا حصتها من النفط - وربما كان جزءًا صغيرًا من ملء ملعقة شاي. وبدأ إنتاجها، كحال المونازيتات، أيضًا في مكان ما بعمق يتراوح بين كيلومتر واحد إلى كيلومترين تحت الأرض. وكانت درجة الحرارة حينئذ قد ارتفعت بما يكفي لطبخ بقايا العوالق في الطين بصورة بطيئة ولطيفة. والجزيئات العضوية، التي أنهكتها الميكروبات المجدَّة من الجزيئات المعقدة والجزيئات النشيطة لكائنات حية، تفككت أكثر وأكثر. وتكسرت منها أجزاء صغيرة، كانت بحجم مناسب جدًّا لتكون على الصورة السائلة. وهنا مجموعة متنوعة كل التنوع: من الألكانات شبه العصوية إلى الألكانات الحلقية الدائرية، مع نثر أيضًا من المركّبات «العطرية» - وهي المركّبات التي تحتوي البنية السداسية المميزة لحلقة البنزين. كما تتكسر أجزاء أصغر أيضًا، لها شكل الغاز الطبيعي - الميثان بصورة رئيسة، وكذلك بعض الإيثان، والبروبان، والبوتان.

إنه تقطير طبيعي يستمر بضعة ملايين سنة، مع أن قياسه من ناحية العمق ودرجة الحرارة أسهل من قياسه من ناحية الزمن. وينطلق النفط والغاز ببطء من بقايا العوالق الأحفورية، بينما تنحدر الطبقة الصخرية للحصاة من حوالي كيلومترين تحت قاع البحر إلى نحو خمسة كيلومترات، حيث ما زالت رسوبيات أخرى تأتي لتجثم فوق قاع البحر الهامد، وترتفع درجة الحرارة من حوالي 80 درجة مئوية إلى حوالي 150 درجة مئوية. وتحت ذلك العمق، المناسب جدًّا للنفط، تطلق العوالق أكثر من أي وقت جاء بعد ذلك، إلا أن بعض الغاز سينطلق بعد عمق كيلومتر آخر أو اثنين؛ ولا ينطلق أي شيء آخر بعد ذلك. ثم مر الصخر بعد ذلك عبر نافذة النفط، وعبر نافذة الغاز أيضًا، وتلك هي نهاية

عملية الإنتاج. وما تبقى هو ما نراه اليوم في الحصاة - قشرات كربونية سوداء أغلبها غرابتوليتات وكربون غير متبلور. وإذا حللنا الحصاة اليوم، سنجدها تحتوي نسبة ما من الكربون، تتراوح بين 1% و2%. وعلى الأرجح أن الطين الأصلي كان فيه 10% أو أكثر من الكربون، وجزء كبير من هذه النسبة استهلك في إنتاج النفط والغاز. ذلك هو التدبير الطبيعي في الواقع.

فأين ذهب ذلك النفط؟ لقد سافر إلى الأعلى، لا بسبب انضغاط الطين، بل لأنه أقل كثافة من الماء، وفي أي خليط يجمعه مع الماء، فإنه سيرتفع إلى الأعلى. وإذا قابل طبقة صخرية كانت الفراغات بين حبيباتها أكبر - في طبقات الرمل والحجر الرملي مثلًا - فإن رحلته ستكون أسهل عبر هذه الممرات الفسيحة تحت الأرض. وربما سافر النفط والغاز وصولًا إلى السطح عائدين إليه، مخترقين مكانًا ما في قاع البحر على هيئة رشحٍ هيدروكربوني. وهذا الرشح يغذي مجتمعات من الحيوانات والنباتات، فعودة الكربون المدفون طويلًا دعم جيد للحياة. وما تقوم به هذه المجتمعات يمثّل الخطوة الأولى في إعادة ذلك النفط والغاز إلى دورة الكربون على سطح الأرض، الذي غاب عنه بعض ملايين السنين.

إلا أن السؤال عن كيفية سفر النفط هو سؤال شائك. فالنفط، وفقًا لسمعته وواقعه، أكثر ثخانة من الماء، وهو يشكل قطيرات صغيرة جدًّا ومتطاولة - يدعوها المختصون بالنفط: القطرات الثقيلة - التي عليها بطريقة ما أن تكافح وتضغط طريقها لتخرج حالًا من خلال الفتحات المتناهية في الصغر، والموجودة بين رقائق الطين المتراصة بإحكام. وحيلتها تلك في الهرب تشبه ما

وما زال من غير المؤكّد يقينًا ما يقوم به هوديني (Houdini)، تقوم به لتنجح في ذلك. فالنفط يتشكل ويهاجر اليوم - على سبيل المثال في أعماق البحر تحت خليج المكسيك - إلا أن تلك بيئةٌ تصعب مراقبتها عن قرب كافٍ (وبصبر كافٍ!) لاكتشاف كيفية انتقال النفط وتسجيلها تسجيلًا دقيقًا. ومن الفرضيات المقترحة أنه يفجر طريقه بصورة جزئية، والضغط الآتي من شريك النفط، وهو الغاز، يساعده بصورة مؤقتة على شق ممرات صغيرة جدًّا بين الحبيبات لتمكين قطرات النفط من الانضغاط إلى مستويات أعلى فأعلى. وذلك ممكن.

إنك عندما تحدق في الحصاة، فإنما تحدق في واحدة من الأمور الغامضة الكثيرة في هذه الأرض. وذلك ليس لمجرد أن الحصاة أعطتنا بضع قطرات من النفط، بل كذلك لأنها مكنت الكثير من القطيرات المماثلة من العبور خلالها، والسفر إلى الأعلى من الطبقات الصخرية في الأسفل، في طريقها إلى السطح. ولعلها لم تمر دون أن تترك وراءها أي أثر؛ فهناك جزء من الكربون الذي يغلف حبيبات الرسوبيات في الحصاة ربما كان بقايا نفطية من أماكن أكثر عمقًا في الأسفل، كان يمر من خلالها ببساطة. إن صنع الحصاة - الذي يراه المرء هنا مرة أخرى أيضًا - ليس بالعملية السهلة.

لكن بخلاف ذلك، ربما ينتهي الأمر بالنفط والغاز - ومن ذلك إسهام الحصاة الصغيرة جدًّا فيهما - محتجَزين في زقاق مصمت تحت الأرض. فلعل النفط دخل في سرير سميك من الحجر الرملي أسفله، مثلًا، وكانت تغطيه بالكامل طبقة من الطين الصخري سميكة جدًّا، يصعب عليه صعوبة كبيرة أن ينفذ منها

إلى ما هو أبعد من ذلك. لقد أصبح هذا الآن خزان نفط. فيبقى النفط تحت الأرض، إلى أن تتحات الصخور التي من فوقه، فيشق طريقه أخيرًا إلى السطح، وربما استغرق ذلك مئات الملايين من السنين. أو لعل الحركات الأرضية ستفض عنه الخاتم قبل ذلك، فتمكِّن النفط من أن يشق طريقه بالتدريج عائدًا إلى السطح من جديد. ثم مرة أخرى، قد لا يبقى النفط صافيًا بالكامل في قبره تحت الأرض. فإذا ارتفع قبره إلى مكان قريب جدًّا من السطح، بأقل من كيلومتر أو نحو ذلك، فإنه سيصبح داخل نطاق تلك الميكروبات الجائعة التي يمكنها، مرة أخرى أيضًا، أن تستخلص منه بعض غذائها. وذلك سيجعل النفط رديئًا غير صالح للاستعمال، على الأقل بالنسبة للبشر في عصرنا.

فهؤلاء البشر لن يستفيدوا من نفط ويلز مهما حدث. فربما، في عصور مستنقعات الفحم والديناصورات، كان هناك إقليم نفطي يجاري إقليم الشرق الأوسط النفطي. ففي نهاية الأمر، فإن مصدر الصخر الأساسي الذي يعد مصدر النفط في السعودية هو صخر طيني من العصر السيلوري، غني بالمواد العضوية الراقدة في بحر معوز الأكسجين، وهو ما يكافئ تمامًا الطبقات الصخرية في وسط ويلز (وبالمناسبة فالغرابتوليتات العربية غرابتوليتيات جميلة). لكن هناك [في الخليج العربي]، انفتحت خزانات النفط وتحاتت لملايين السنين الماضية. لكن ربما لم يبلغ اليأس من نفط ويلز مداه: فشركات النفط تقوم بين الحين والآخر بحفر آبار محتملة حول ويلز، آملة - عبثًا حتى الآن - أن تكون هناك جيوب صغيرة باقية حتى الآن.

إلا أن الهروب الكبير للنفط ربما ترك ذكريات أخرى منقوشة في حصاتنا، ذكريات من النوع الذي يطمع في الوصول إليها الجيولوجيون، إنها ذكريات تحمل ختم التاريخ، لتدلنا على زمن حدوث ذلك الهروب. والأمل في ختم التاريخ هذا أمل ضعيف: إلا أنه يمكن للمرء القول إن العمل على ذلك لم ينته بعد. فهو عالق عند الرابطة بين هروب النفط والدور الذي لعله كان له في إعادة الخلط الكيميائية الكبيرة: من هجرة العناصر الأرضية النادرة وتبلور المونازيت في الطبقات الصخرية. لقد كنا نبحث، كما لعلك تذكر، عن العامل المجهول الذي ساعد في انتقال هذه العناصر الأرضية النادرة عبر الأوحال. ذلك العامل ربما ما هو إلا هجرة النفط عبر الصخور.

وقد تكون عناصر الأتربة النادرة عناصر غامضة، لكنها لم تهمل من الدراسة. وحديثًا هناك موجة اهتمام بها؛ لأنها مكون أساسي في بعض المُوصِلات الفائقة التي تعمل في درجات الحرارة العالية. و«درجات الحرارة العالية» هنا قد تشير إلى مئة درجة مئوية تحت الصفر، فعادةً ما تعمل الموصلات الفائقة في درجات حرارة أبرد من ذلك أيضًا. ولو كان بالإمكان صنع الموصلات الفائقة لتعمل في درجة حرارة الغرفة (أو نحو ذلك)، لتمكنا من استخدام الكهرباء بصورة أكثر فعالية. وإذا كانت عناصر الأتربة النادرة مكونًا أساسيًّا فيها، فلعل المونازيتات كالتي في حصاتنا، تصبح عناصر مرغوبة ينقب عنها، وسلعة يمكن تسويقها تجاريًّا.

لكن في المجالات الثانوية الأقل شهرة من الأبحاث، هناك استقصاء لما يمكن أن يجعل عناصر الأتربة النادرة تنحل بسهولة أكبر في الماء. فمن الأشياء التي وجد أنها تجعلها ذوابة بصورة

أكبر هو وجود المواد العضوية في الماء، حيث تمسك الجزيئات الهيدروكربونية بذرّات عناصر الأتربة النادرة، أو تدخل في مركَّب معها. وهذه الجزيئات العضوية المتنقلة تكون وافرة مع تحرك النفط، فيساعد ذلك عناصر الأتربة النادرة على أن تحمل تلك الجزيئات معها بضعة سنتيمترات، من الأوحال العكرة الشاحبة إلى الطبقات الطينية الغنية بالعوالق - حيث تلتصق، وتبقى، وتشكل بلورات ما زالت ترى في الصخور (وفي الحصاة) اليوم.

## الزمن مرة بعد مرة

لقد طُبع الزمن في بلورات المونازيت. لكن للأسف، فالزمن فيها ليس بسيطًا ولا دقيقًا كما في الزركونات البديعة. بل هو زمن خدَّاع، زمن يحاول أن يوقعك في الخطأ، زمن رقيق عنده شيء من الطرافة (كما يقال غالبًا) - إلا أنها طرافة غير عادية. فكل بلورة مونازيت تحتوي ساعتين. الأولى هي الأكثر وضوحًا - وهي كذلك مضللة تمامًا. فأحد عناصر الأتربة النادرة - وهو الساماريوم - له نظير إشعاعي يضمحلّ تقريبًا بالسرعة المناسبة لساعة للزمن القديم إلى عنصر أرضي نادر آخر، وهو نظير للنيوديميوم. وكلا العنصرين موجود في المونازيت، بكميات كبيرة كافية.

حظٌّ طيب! إنه المقياس الزمني الكامل للصخور الطينية - قد يحسبه المرء كذلك. لكن لسوء الحظ هناك أمر مريب. ويمكن

للمرء أن يختبر ذلك، بحرص شديد، عند تحليل كميات السماريوم الأب والنيوديميوم الابن، ومن ذلك التحليل - ومعرفة النسبة التي تحول بها أحدهما إلى الآخر (العمر النصفي) - يستنتج الزمن الذي مضى منذ تشكل البلورة. لكن الجواب الذي سيتوصل إليه سيشير إلى أن البلورة تشكلت قبل أكثر من مئة مليون سنة من استقرار الصخور الطينية التي شكلتها. وهذا ببساطة ينافي العقل، ولا بد أن هناك سببًا لذلك.

وهنالك سبب لذلك فعلًا، وهو يكشف رقة عملية تبلور المونازيت - أو يمكننا أن نقول براعتها. فإذا نظرنا عن قرب إلى تركيب النيوديميوم في المونازيت - أي نسبه من نظائره المختلفة - في كل البلورة، فسنجد أن هناك بوضوح كميات أكبر من النظير الذي ولَّده السماريوم في لب البلورة منها في أجزاء البلورة الخارجية. وهذه الكمية الإضافية من النيوديميوم أضيفت إلى البلورة حين تشكلها، من مصدر ما خارجيٍّ مجهول، وهي التي «قدّمت الساعة» فعليًّا. وبما أنه يبدو أن لا طريقة إلى الآن لمعرفة كم قُدّمت، لذا فإن هذه الساعة عديمة الجدوى. إنها مكوّنات معقّدة ساحرة، لكنها تظهر لنا الفِخاخ التي تصادفنا عندما نلاحق شبح الزمن الجيولوجي - أو بالأحرى عندما نحاول أن نلاحقه.

ولحسن الحظ، يخبئ لنا المونازيت في جعبته مقياسًا زمنيًّا آخر. فالمونازيت (حاله كحال الزركون) يمكنه، عندما ينمو، أن يضم إليه بعض اليورانيوم. وهذا العنصر، المعروفُ جيدًا تفككُه الإشعاعي إلى الرصاص، يمكنه أن يدلنا على زمن تشكل البلورة. إلا أننا لنفوز بذلك علينا أن نعتمد على القليل منه، فنوع مونازيت الحصاة يحتوي كميات صغيرة جدًّا من اليورانيوم: تكفي فقط

لقياس ما هو موجود منه - ومن الرصاص الذي تشكل من تفككه. لذلك فإن هذه التقديرات الزمنية لا تجاري دقة أجزاء المليون من السنين التي تقدمها لنا الزركونات. ومع ذلك، فهي تظهر بوضوح أن نوع مونازيت الحصاة انتهى تبلوره قبل نحو 415 مليون سنة إلى 420 مليون سنة، وهي ملايين السنوات التي تلت ترسب الطين من حولها. وإذا كان تبلور المونازيت قد سرَّع في هجرة النفط، فإن هذه الساعة تعطينا أيضًا تاريخ تولد النفط.

إن الحصاة عالَمٌ مصغر لعالم ما تحت الأرض الذي تلاشى اليوم، ولها تقريبًا تعقيد رباعي الأبعاد غير محدود. وهذه المرحلة الخاصة من تطورها تميزت بما هو أكبر من تغيرات طرأت على مكوناتها الصغرى: بضعة أجزاء مئوية من المركبات الكربونية، ونسبة ضئيلة منها تصنعها عناصر الأتربة النادرة. فنسيج الطين بأكمله كان يتغير أيضًا. لقد كان يتحول إلى صخر.

فتحتَ الضغط ودرجة الحرارة المرتفعة والطمر تحت كيلومترات من الأعماق، والأثر المحفز من السوائل التي تحت الأرض، كانت الحبيبات نفسها تتغير. فاختفت الآن جسيمات الفلسبار، بعد أن تفككت إلى غضاريات، وانحلت حبيبات الكوارتز عند الحواف، خاصة عند نقاط الضغط العالي حيث تستقر الحبيبات واحدة فوق أخرى (وتحمل كلٌّ منها ثقل أميال من الطبقات الصخرية فوقها). وتنحل هناك السليكا - لتكثف رقعًا مجاورة ذات ضغط أقل، مكونةً ملاطًا حول الحبيبات وجامعة بعضها إلى بعضها الآخر.

وكذلك كانت الجسيمات الغضارية المرهفة المعقدة تتحول أيضًا. فقد كانت تنمو. وبدقة أكبر: كان بعضها ينمو على حساب بعضها

الآخر. لقد كان هناك إعادة ترتيب مستمرة للشبيكات الجزيئية؛ فبعضها تفكك، بينما بعضها الآخر زِيد فيه. والجسيمات، التي هي أصلًا وافرة وصغيرة جدًّا وغير مترابطة وغير مرتبة، تتحول الآن إلى بلورات أكبر حجمًا وأكثر سماكة وأحسن تنظيمًا. إنها البداية التدريجية لعملية ستؤول إلى تحول ناضج بالكامل يرافق بناء الجبال، إنها عملية ديناميكية تتقلّص فيها القشرة الأرضية نفسها - لكن الطبقات الصخرية هنا كانت تطبخ ببساطة على بعد بضعة أميال تحت قاع البحر الساكن، مع استمرار تدفق المزيد من الرسوبيات في البحر آتيةً من ساحل القارة البائدة أفالونيا.

وأحد التحولات المميزة هنا، وسط الغضاريات، كان له أثر ممتد. أو بالأحرى فإن هذا التحول هو المشتبَه به الرئيس في تحول ممتد للصخور، مع أنه تحول غير مرئي بالمطلق، وهو القوة المحركة لساعة زمنية أخرى لتاريخ الأرض - يمكن للحصاة أن تكون جزءًا من هذه الساعة، لكن لا يمكنها أن تشكل الساعة كلها.

والتحوّل هنا يتضمن السمِكتيت (smectite) المعدني الغضاري. وهذا المعدن الغضاري معدن شائع - فهو ناتج دائم من تجوية الصخور البركانية، على سبيل المثال. كما أنه يحتوي جزيئات الماء، التي ترتبط ببنيته ارتباطًا مخلخلًا تقريبًا، ويمكن لجزيئات الماء هذه أن تُمتَص أو تتحرر مع تبدل البيئة المحيطة. وهو ليس معدنًا غضاريًّا ترغب في أن يكون هناك الكثير منه في التراب تحت أساسات منزلك مثلًا، ففي الصيف ستجف الأرض وتتقلص، وفي الشتاء سيغدو رطبًا ويتمدد - وسيأخذ منزلك في الهبوط والصعود في الحالتين.

وعند أعماق تقرب من كيلومترين، تبدأ بنية السمكتيت بالانهيار. فعادةً ما يتحول السمكتيت إلى معدن غضاري آخر، هو الإليت، عن طريق التقاط المزيد من الكالسيوم من الحطام المتروك من الفلسبارات المتفككة. ويتحرر الماء من بنية السمكتيت، وينضاف إلى السوائل المنسابة عبر الصخور. إنه دفقة إضافية من السوائل لها شيء من الأهمية، ولعلها تفسر بعض الأنماط الغريبة جدًّا التي نشأت في الصخور الطينية في ويلز.

وأحد المقاييس الزمنية الصخرية الرقيقة في الصخور الطينية يتضمن عنصر الروبيديوم. فأحد نظائره نظير مشع؛ يتفكك إلى أحد نظائر الاسترونشيوم. وهذا المقياس الزمني يتطلب تحليل عينات متعددة، تؤخذ عادةً من مسافة أبعد بقليل، فهو للأسف لن يعمل من حصاة واحدة: بل سيحتاج المرء إلى حصيات متعددة - وعلاوة على ذلك، يجب أن تكون حصياتٍ مأخوذة أصلًا من أماكن قريبة من بعضها في الصخور، وهو أمر يصعب إلى حدٍّ ما التثبُّت منه. فإذا كانت نسب الروبيديوم والاسترونشيوم منتظمة جيدًا على خط تساوي الزمن الجيولوجي على المخطط الناشئ، فإن ذلك يمكن أن يدلنا على الوقت الذي مضى منذ أن اختلطت النظائر المعنية معًا آخر مرة على نحو متساوٍ. وحادثة الاختلاط هذه هي زمن إعادة البدء في هذه الساعة الذرية المميزة.

لقد استخدِمت ساعة الروبيديوم والاسترونشيوم في ويلز في محاولة لتحديد دقيق لزمن حادثة مميزة، حادثة لم يصل إليها بعدُ شكل حصاتنا (في قصتنا هذه): إنها الحادثة التكتونية التي شكلت جبال ويلز. ويظن أن ذلك هو الحدث الجيولوجي الوحيد ذو

الأهمية البارزة في إعادة الخلط الشاملة للنظائر لكتلة من الصخر بحجم منزل مثلًا.

وبناءً على ذلك جرى تحليل الصخور. ووجدت فعليًّا إعادة خلط كبيرة لنظائر الروبيديوم والاسترونشيوم في الصخور. لكن زمنها يبدو خاطئًا. فحادثة إعادة الخلط التي كشفت عنها نظائر الروبيديوم والاسترونشيوم كانت أقدم بنحو 20 مليون سنة مما أشارت إليه تقديرات أخرى لحادثة بناء الجبال. والواقع أنها حدثت قريبًا جدًّا من زمن حادثة تبلور المونازيت. فهل تشكلت الجبال في زمن أقدم في هذا الجزء من ويلز؟ ذلك أمر غير مرجح (كما سنرى). إذن فهل حدث أمر آخر أعاد بدء ساعة الروبيديوم والاسترونشيوم في الصخور، بدرجة كبيرة بحيث إن ما تلاه من بناء الجبال لم يؤثر فيها؟ وكان يعتقد أن ذلك تفسير أكثر قبولًا، وكانت أصبع الاتهام تشير إلى دفقة السوائل التي انطلقت من جراء تجفاف السمكتيت في الصخور، نتيجة الضغط، مع تحوله إلى الإليت.

إن ذلك أكثر التأثيرات رقة في جانبٍ من جوانبه - فهو غير مرئي وغير ملموس - لكنه مع ذلك يحدث نتيجة خلط أحد وجوه الكيمياء، بمستوى يؤكد مرة أخرى ديناميكية هذا العالم الغريب تحت الأرض. إنه عالم قريب جدًّا منا. وكل ما علينا فعله للوصول إليه هو السير بضعة كيلومترات عموديًّا إلى الأسفل. فإذا كان الطريق مفتوحًا أمامنا (وكان لدينا النوع المناسب من الأحذية، أحذية لاعبي السيرك التي يمكن بها الالتصاق على جدار عمودي)، فسيستغرق الأمر منا أقل من ساعة. لكن حينذاك، ولنرى فعلًا ما يجري، سنحتاج إلى صنع مجسات تكشف لنا

الحركات الدقيقة للنظائر، والسوائل، وكيفية تغيرها، وسنحتاج إلى حساسات للضغط والحرارة، وسنحتاج إلى الوقت لنرصد، ونسجل، ثم نتأمل فيما رصدناه وسجلناه، ألف سنة بعد ألف سنة. وتلك ليست من المهمات التي يستطيعها العقل البشري. لكن من حسن الحظ، فإن ما يعوض عن قلة صبر الإنسان هو الآثار الأحفورية لهذه الأزمنة القديمة المحفوظة في الطبقات الصخرية - التي من اللافت أنها مكثفة في حصاة واحدة.

وفي هذه المرحلة، أصبح الآن شكل الحصاة في الطبقات الصخرية صخرة. وإذا كان بوسع أحد الرجوع في الزمان والمكان، ليقتلعها، لوجدها وصلت إلى شكلها الحاضر. فستكون بارتفاعها نفسه اليوم، إلا أنها ستكون أكثر سماكة منها اليوم. ففي هذه المرحلة جرى ضغطها بشدة من أحد الاتجاهات - من الأعلى - لكنها لم تضغط بعد من الجانب الآخر. فإذا ضربتها بمطرقة فسوف تتكسر محدثة صوت قعقعة، واضحٍ على طول الطبقات الرسوبية، وأحيانًا تنكشف بعض الغرابتوليّتات الجميلة الممتلئة بالبيريت. (آه! لو كان لها أن تفعل ذلك اليوم، لكانت حياة عالم الأحافير أسهل بكثير).

وعلينا أن نترك الحصاة الآن لبعض الوقت، هناك في تلك الأعماق المظلمة. فلا شيء سيحدث هناك الآن لنحو عشرين مليون سنة، عدا أن المعادن الغضارية ستنمو ببطء لتصبح أكبر حجمًا وأوثق ارتباطًا بعضها ببعض، وستصبح الصخور أكثر قساوة. إنها حبيسة تلك الأعماق. تنتظر تحولًا آخر بعدُ، مع اقتراب قارة آتية من الجنوب. فإفريقيا ستطبع خاتمها على حصاتنا.


11

# صنع الجبال

## صانع الإردواز

لقد مضت على الحصاة 20 مليون سنة تمامًا: في فترة استراحة، في مكان ما على عمق نحو 3 إلى 4 كيلومترات تحت قاع البحر. وكان الصخر لا يزال يتبلور، لكن ببطء شديد جدًّا. والماء الآن انعصر منها تقريبًا، والقليل جدًّا من السوائل تنساب عبر الصخر. وعند هذا العمق تكون درجة الحرارة مرتفعة، ومن الواضح أنها أعلى من 100 درجة مئوية. وشكل الحصاة يبدو مجدبًا لا حياة فيه.

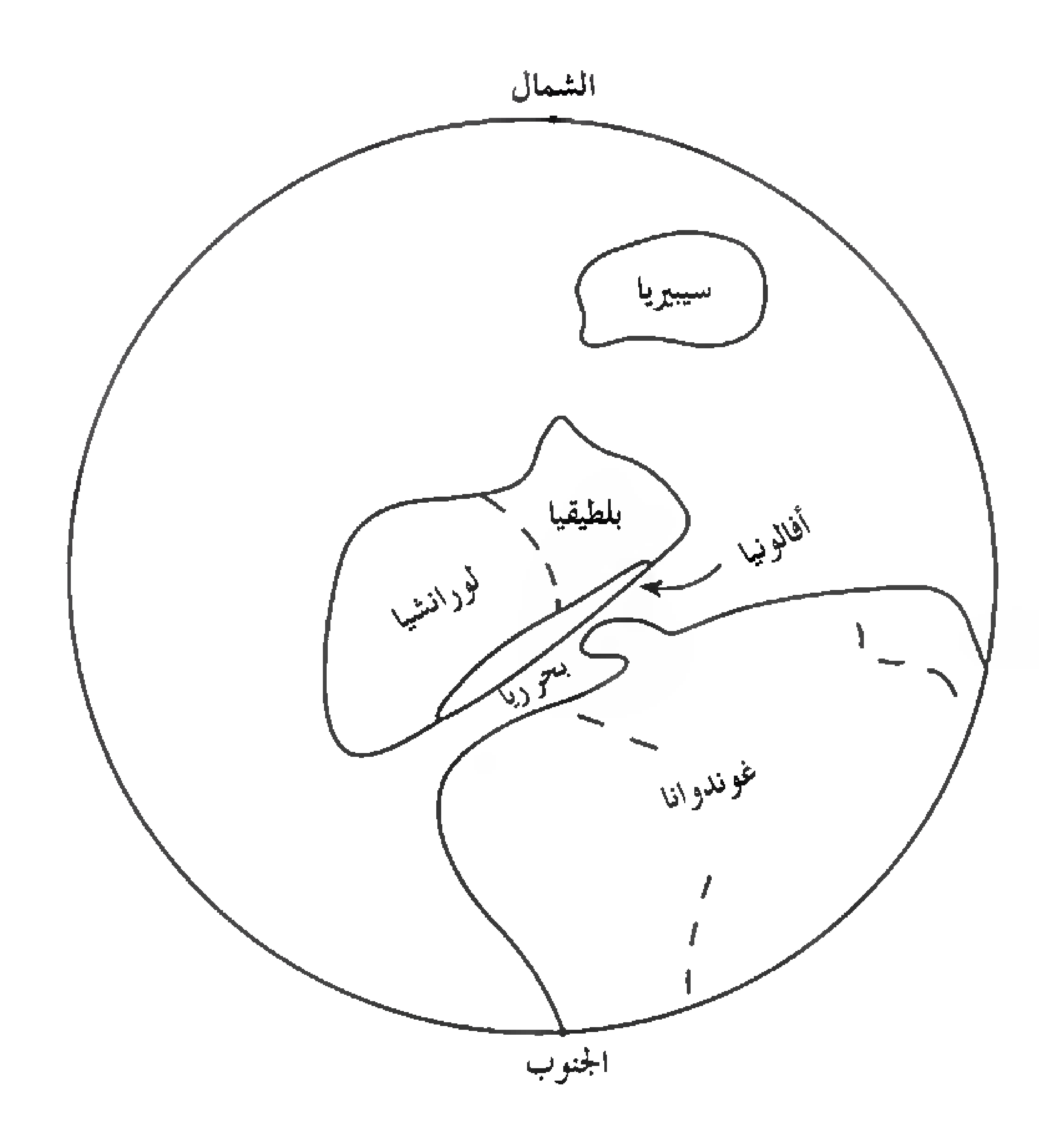
والزمان الآن هو زمان أقل بقليل من 400 مليون سنة خلت. إننا في العصر الديفوني. وفي الأعلى، عند سطح الأرض، هناك تغييرات تحدث، لكن تأثيرها على الحصاة أشبه بحدوثها على كوكب آخر. ففي البحر، تمضي الغرابتوليتات في قطار سريع من التطور، فتزداد تنوعًا في مراحل تفصل بينها أوقات عصيبة؛ إنْ هي استطاعت البقاء. فسرعان ما يصبح أحد هذه الأوقات العصيبة نقطة نهاية لها، فتختفي من البحار المفتوحة، ولا تعود إليها أبدًا. وبالمقابل تبدأ الأسماك بالتكاثر في البحار والأنهار والبحيرات. وتزداد الأرض خضرة ونضرة، بسرعة كبيرة غالبًا؛ فالنباتات تنمو بجنون على سطحها.

إلا أن أيًّا من هذه الأحداث لن يؤثر في حصاة المستقبل. لكن شيئًا ما سيؤثر فيها. فالبحر في الأعلى يزداد ضحالة شيئًا فشيئًا، تملؤه الرسوبيات من البر المتقدم. وفي النهاية، يتغير البحر هناك، قبل بضعة ملايين سنة، ليصبح سهلًا ساحليًّا واسعًا، تقطعه الأنهار. والآن، أصبحنا تقريبًا في الزمن الذي توشك فيه الأرض المنخفضة على الارتفاع لتشكل سلسلة جبلية يمكن تسلقها حتى يومنا هذا - على الرغم من أنها أقل عظمة بكثير مما كانت عليه في أول أمرها.

لكن ما الذي أخرها كل هذا الوقت؟ في بحر إيابيتوس في الشمال، الذي كان يمتد قبل 50 مليون سنة إلى أكثر من 1000 كيلومتر عرضًا، واختفى بصورة مثيرة قبل 20 مليون سنة، في ذلك البحر كانت صفيحة المحيط تنزلق تحت اليابسة الشمالية لاسكتلندا وأمريكا الشمالية. لكن في أفالونيا، بدا التأثير كأن هاتين اليابستين قد انزلقتا بدقة إلى موضع أفالونيا، مع تشوه ضئيل في قشرة أفالونيا (والحق أن كتلتي اليابسة هاتين اقتربتا من بعضهما بعضًا بصورة جزئية من الجانب، ولم تتجها إلى بعضهما بعضًا مباشرة). فهل ما زالت قوة صنع الجبال تأتي من الشمال، ربما على هيئة شيء من الشدة المتأخرة الغامضة للقبضة المحكمة التي تمسك بهاتين الكتلتين الأرضيتين معًا؟

أم أن القوة تأتي من الجنوب؟ قد تكون هذه الفرضية هي الأكثر احتمالًا. فانفصال أفالونيا عن كتلة اليابسة غوندوانا التي تغلب عليها إفريقيا، وكان دام نحو 200 مليون سنة، وأبعدهما عن بعضهما بعضًا آلاف الكيلومترات، كان على وشك الانتهاء. فذلك المحيط الجنوبي الواسع بينهما، بحر ريا، كان يختفي أيضًا. ووقت

رسو أفالونيا على غوندوانا - أو بالأحرى ما أصبح نتوء أيبيريا (إسبانيا اليوم) وأرموريكا (التي تغلب عليها فرنسا اليوم) يبدو، كما تدل البينات المتجمعة، متزامنًا مع وقت صنع الجبال في ويلز.




الشكل 8 - موضع أفالونيا في العصر الديفوني

إن نسيج مكوّنات الحصاة الآن يوشك أن يمضي نحو آخر تغيراته التحولية الكبيرة. فقد مضى على الحصاة وقت طويل تحت الضغط، لكن ذلك الضغط كان ناتجًا ببساطة من ثقل الكتلة الكبيرة من الطبقات الصخرية فوقها. لقد جعلها الضغط مسطحة، وعصرها حتى أصبحت جافة تقريبًا، لكن بما أنها كانت حبيسة داخل مستواها في الطبقات الصخرية، فقد كان ذلك الضغط ينطبق على كل ما حولها. ويمكننا القول إنه ضغط مماثل للضغط الساحق الذي يشعر به غواص في أعماق البحر تخلى عن حرصه وهو يهبط باتجاه الأعماق الغائرة. لكن قوة الضغط الآن وصلت إلى مرحلة التغيير.

ومع ضغط كتل القشرة الأرضية لأفالونيا وإفريقيا على بعضها بعضًا، توجههما تيارات الوشاح المتحركة عميقًا داخل الأرض، تصبح قشرة هاتين القارتين متغضنة وسميكة، خاصة حول منطقة التأثر. والشيء الذي سيصبح حصاتنا يجد في ذلك ضغطًا جانبيًّا مستمرًّا، كأنها بين فكي مَلزمة ضخمة. وأحد الفكين يقع في الشمال الغربي، والآخر في الجنوب الشرقي - ولا تنسَ أن تلك الجهات نسبية تبعًا لموقع ويلز على الأرض اليوم.

والحصاة الآن تتحرك، تسير في مسار يتلوى من الجانب إلى الجانب ومن الأعلى إلى الأسفل، فالطبقات الصخرية التي تسكن فيها تطوى طيات هائلة (اللوحة 3د). ولا يمكن أن يرى ذلك في الحصاة - بل على المرء أن ينظر إلى الجروف، ويعيد النظر فيها، ليرى أن هناك طيات مستقلة كبيرة بحجم الجرف نفسه.

فكيف يمكن طي شيء بقساوة هذا الصخر وهشاشته؟ الجواب هو: بقدر كبير من القوة (وهذا واضح)، وكذلك بتطبيق تلك القوة ببطء. فلو كان الضغط المطبق سريعًا جدًّا، فستتكسر الصخور ببساطة، مع فرقعة مدمّرة ناتجة من هزة أرضية. والواقع أن تكسّرات من هذا القبيل تلاحَظ في الجروف بين مكان وآخر، حيثما تغير موضع الطبقات الصخرية بصورة عنيفة. إلا أن الصخور الحارة المضغوطة تحت الأرض يمكنها أيضًا أن تزحف وتنساب ببطء، تحت ضغط يطبق عليها بمعدل مستقر. وذلك يشبه قليلًا ما يحدث في جليد النهر الجليدي، الذي يمكن أن ينساب منحدرًا أو يتكسر في أخاديد وشقوق للسبب نفسه تمامًا - أو بتشابه أقل مع لعبة الأطفال سيلي بوتي [المعجون المرن من بوليميرات السليكون]، التي تصنع لتتمدد أو تنكسر، اعتمادًا على شدها بنعومة أو ضربها بقوة.

كما أن تلك الطبقات الصخرية المطوية تزداد حرارة. وذلك لا يعود كثيرًا إلى أن الطي يدفعها إلى أسفل (على الرغم من أن ذلك يمكن أن يحدث) بل لأن كتلة الطبقات الصخرية بمجملها - وهي حجم ويلز في الواقع - قد أصبحت سميكة بعد أن تقلّصت القشرة الأرضية. وهذا ما يشكل غطاءً أكثر سماكة يحبِس حرارة الأرض. والبر الصاعد (الذي كان قاع بحرٍ استقرت عليه رسوبيات الحصاة) أصبح الآن أضيق، من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي، بحوالي 10%. وبمرور الزمن يتوقف عن التحرك، وحينذاك يمكن أن يكون هذا المقطع من اليابسة أضيق بمقدار الثلث. وداخل هذه الكومة السميكة من الطبقات الصخرية، ترتفع درجة الحرارة شيئًا فشيئًا، لتصل ببطء إلى 250 درجة مئوية.

والآن، وأخيرًا، انضغط مظهر الحصاة فاتخذ شكله - شكله الحالي. ومثل حال معظم الحصيات الأخريات على الشاطئ، لحصاتنا شكل القرص بصورة أساسية، وهو شكل يُظهر الطريقة التي انقسمت بها الصخور إلى ألواح، تدورت حواف كلٍّ منها بعد ذلك بفعل الأمواج. إلا أن هذه الألواح ليست بألواح طبقات صخرية، فأشرطة الطبقات منحرفة عن السطح المستوي، بدلًا من أن تكون متوازية معه. حيث تنبئ هذه الألواح عن السطوح المنقسمة، التي صاغتها الجبال المتنامية، بعد تحول الحجر الطيني إلى حجر إردواز. ويمكن للمرء - إذا أراد - أن يأخذ مطرقة وإزميلًا فيقسم الحصاة أكثر من ذلك. فالحرفيون الذين اعتادوا على صنع قرميد سطوح المنازل بأيديهم، في مناجم الإردواز القديمة في ويلز، يمكنهم أن يرققوا سماكتها إلى أقل من ربع بوصة. ولا يسع المرء أن يفعل ذلك، تمامًا، بحصاتنا - فالطبقات الرملية تتداخل مع التقسيم - وبالطبع فإن مهارة الحرفي القديم كان من الصعب اكتسابها، وليس من السهل تكرارها. إلا أن الرقائق المستقلة (التي يمكن أن تتناثر من طرف إزميل غير مصقول) يمكن أن تكون بسماكة جزء من المليمتر.

وهكذا، ففي جذور الحزام الجبلي الجديد، تحول النسيج المجهري للحصاة أيضًا، مع نمو الطيات. والضغط الجانبي المستمر انتقل عبر كتلة الصخر بأكملها، مؤثرًا على قشيرات لا تعد ولا تحصى من قشيرات الميكا التي تشبه الرقاقات. وقشيرات الميكا هذه، حتى ذلك الوقت، كانت في غالبيتها مستلقية مسطحة بعد سقوطها، متوازيةً مع قاع البحر. وبدأت قشيرات الميكا بتغيير موضعها، لتصطف على زوايا قائمة مع القوى المؤثرة. فالأمر أشبه بدفع

يدك في وجه حافة صفحة من الورق. فتنثني صفحة الورق إلى أن يكون سطح الورقة يقابل سطح يدك.

ويتبدل الاتجاه على طول المستويات التي هي على زوايا قائمة مع الضغط المستمر، مع المستويات التي لا تزال بينها قشيرات الميكا - مبدئيًّا على الأقل. وهذه البنية المستوية -التي تنقسم الصخور الآن على طولها بسهولة- تدعى الانفصام التكتوني، أو الانفصام الإردوازي (اللوحة 3هـ). ومع استمرار الحرارة والضغط، يتبدل اتجاه عدد أكبر من قشيرات الميكا، إلى أن يتبدل اتجاهها جميعًا في نهاية المطاف. ونظريًّا، وعند تلك المرحلة من التحول الكامل، يمكننا أن نترقب انقسام الصخور على طول مستويات الانفصام إلى اللانهاية تقريبًا، على الرغم من أن على المرء أن يتحلى بكل المهارة التي كانت عند عمال مناجم الإردواز القدماء في ويلز، وزيادة، للقيام بذلك.

إن إعادة الضبط أمر معقد. فقشيرات الميكا يمكن أن تدور بصورة ميكانيكية، أو قد تنمو من جديد، فتنحل وتتبلور من جديد لتستلقي مسطحة في وجه الضغط. أو يمكن أن تنثني ثم تنطوي، وعندما تنطوي إحداها، تنزع التي فوقها إلى الانطواء أيضًا، ثم التي فوقها، فالتي فوقها، إلى أن تتشكل كومة عمودية صغيرة جدًّا من قشيرات الميكا المطوية. ويدعو الجيولوجيون ذلك باسم التغضن، وهو يحاكي الطيات الهائلة التي يمكن رؤيتها في الجروف لكن بمقياس مجهري.

وليحدث كل ذلك، ما زالت هناك حاجة إلى الماء. فمن المدهش، أنه بعد كل العصر وزيادة الحرارة لعشرين مليون سنة خلت، ما

زال هناك بعض السوائل في هذه الكتلة الصخرية - بضعة أجزاء مئوية فقط، لكنها كافية كي تمكن المراحل المتعددة من الانحلال والترسيب في تلك المقاييس الجزيئية، تمكنها من التأثير في تحول الصخور. كذلك -وبصورة أكثر غموضًا إلى حدٍّ ما- يبدو أن هناك ما يكفي من السوائل لانسلال بعض الصخور إلى الأعلى باتجاه السماء.

## الاستيراد والتصدير

يصبح الصخر الطيني أصغر حالما يتحول إلى إردواز؛ فتضيع بعض كتلته، وتشير بعض الدراسات إلى أن تلك الكتلة الضائعة يمكن أن تكون نحو خُمس مادة الصخر. ومن تلك الكتلة الضائعة السليكا، التي تغادره بصورة محلول. فكيف تغادره؟ ومرة أخرى، نجد أنفسنا هنا في عالم من الغموض، أشد غموضًا من تفجر النفط من الصخور الطينية. ومن الممكن أن تكون مستويات الانفصام ممرات ناقلة، تتيح التصدير باتجاه الأعلى لكلٍّ من السوائل والمعادن المنحلة. لكنها إذا كانت ممرات، فهي ممرات لا سماكة لها تقريبًا، وفضلًا عن ذلك فإنها ممرات مضغوطة معًا بفعل كل القوى المساهمة في صنع الجبال. وذلك سر آخر من أسرار الحصاة. فعندما نمعن النظر في شكلها الناعم، نجد طبيعة هذه الممرات لغزًا من الألغاز؛ الألغاز الكثيرة التي ما زالت تنتظر من يحلها.

على كل حال تغادر تلك المكونات - فإلى أين تذهب؟ بعضها يمضي في بعض الطريق في الصخور باتجاه الأعلى، ليملأ العروق والكسرات المعدنية، وذلك جزء من الفقرة التالية في قصتنا. لكن بعضها ربما يسافر إلى أبعد من ذلك. ففي السلاسل الجبلية اليوم، هناك ينابيع تأتينا بالمياه المعدنية التي جاءت من أعماق بعيدة في القشرة الأرضية. ولا بد أن ينابيع مشابهة تفجرت في جبال ويلز المتنامية هذه. لقد حملت معها عناصر يمكن لنا قراءتها على البطاقة التعريفية لقارورة مياه معدنية: السليكون، والمغنزيوم، والكالسيوم، والصوديوم، وغيرها، وربما بعض العناصر الغريبة مثل الزئبق (كما رأيتُ مرةً مكتوبًا على قارورة اشتريتها بلا اكتراث). وكل هذه العناصر انعصرت من الطبقات الصخرية السفلية، وكلها ساعدت في إخصاب التضاريس الجديدة مع بدء ظهورها، لأول مرة في تاريخ الأرض الممتد لأربعة مليارات سنة، بإنماء الغطاء الأخضر الممتد على اليابسة. كذلك فإن الحصاة ربما أسهمت بقدر مجهري زهيد في إنشاء تضاريس خضراء وزاهية.

وهذه البيئة المحيطة بيئة غريبة بين فكي الضغط العالي تحت جذور الجبال. والذهاب إليها، وأخذ العينات منها، أصعب من الوصول إلى سطح المريخ مثلًا وأخذ العينات منه، لكن العمليات التي تجري داخلها حاسمة في تكوين تضاريسنا والصخور التي تبنى عليها. وعلينا أن نتذكر أن جبال ويلز تظهر لنا الدائرة الخارجية فقط من هذا العالم داخل الأرض. أما المستويات الأكثر عمقًا، فيمكن أن نراها في الصخور المتكشفة في الأحزمة الجبلية الكبيرة؛ في جبال الألب والأنديز والهيملايا. فهناك ترتفع درجة الحرارة إلى 400، و500، وحتى 600 درجة مئوية، أما

الضغط فيكون ضعفين أو أربعة أضعاف. وتلك الصخور المتألمة تتحول إلى شكل آخر تمامًا؛ فيصل بعضها إلى حد الانصهار.

ولعل الحصاة لا تمثل العمليات التي تجري في أعماق الأرض بهذه الشدة وعلى مقياس جبال الألب، لكنها تحمل داخل حدودها علامات وافرة لكيفية انتقال الضغط الأرضي عبرها، وتحويله إطارَها المعدني المعقد. فعلى سبيل المثال، انظر إلى سطحها باستخدام عدسة يدوية. ستجد العشرات من النقاط الشاحبة، بحجم حبيبات الرمل على الشاطئ تقريبًا، متناثرة على سطح الصخر الطيني الداكن. وإذا ازددت إمعانًا في النظر، باستخدام مجهر، ستجد أن هذه النقاط ما هي إلا بلورات كبيرة من الميكا. ويحتوي جوف الحصاة على آلاف كثيرة منها. لكن تلك لا تشبه قشيرات الميكا الناعمة البراقة التي كثيرًا ما تنجرف على طول قيعان الأنهار والبحار، التي تعطي للرسوبيات هناك منظرها المتلألئ. والأشكال الغريبة في الحصاة لها شكل البراميل، فلها ارتفاع أطول من عرضها، واقفة على سطوح الطبقات الصخرية (اللوحة 4أ).

وهذه الميكا التي على شكل البرميل هي منتج آخر من منتجات صنع الجبال. فقد كانت في الأصل قشيرات مسطحة عادية منجرفة من الميكا، تستلقي على طول سطح الترقق. ثم، مع انضغاط الصخر من جانبه، أجبرت الطبقات التي تشبه صحيفة الورق في الشبيكة الجزيئية على التباعد، فتمكن السائل المحمل بشحنات كيميائية من دخول جوف القشيرة. ومن هنا قام السائل ببلورة المزيد من الميكا داخل الميكا الأصلية، فجعل سماكتها تزداد. ثم حدث ذلك مرة ثانية، وثالثة، ورابعة، إلى أن نما جسيم

الميكا إلى سماكة عشرة أضعاف أو أكثر من سماكته الأصلية. فالأمر أشبه بتحويل غلاف ورقي رقيق إلى مجلد ضخم، بالإدخال التدريجي لآلاف كثيرة من الصفحات بين صفحتي الغلاف الأصليتين. فمن أين أتت هذه المادة، التي زادت في حجم هذه الميكا «أو الكتاب»؟ لا بد أنها جاءت من مكان ما آخر في الكتلة الصخرية، على هيئة نوع من الاستيراد والتصدير، لكن ليس من الواضح إن كان ذلك قد حدث على بعد مليمترات أم على بعد أمتار.

وعلى كل حال، ففي الأقاليم التي حفظت فيها الحصاة من الضغوط الجانبية الساحقة، احتفظت الميكا بأشكالها الأصلية. أما قشيرات الميكا التي ابتلعتها بلورات المونازيت المتنامية قبل نحو 20 مليون سنة، فقد وجدت لنفسها ملاذًا. وتصرفت بلورات المونازيت مثل الكرات الفولاذية التي تكون موضوعة داخل مادة بلاستيكية يضغط عليها طفل نشيط بقوة. فهي لا تتشوه مع تحول الصخور الطينية من حولها إلى إردواز. حيث تبقى قشيرات الميكا داخل طوق ذلك المونازيت الصلب رقيقةً ومسطحة، كحالها عندما استقرت على قاع البحر السيلوري، قبل بضعة ملايين من السنين.

## ظل الزمن

هناك أشياء أخرى داخل الحصاة قاومت أيضًا ضغوط صنع الجبال. فالأحافير التي يملؤها البيريت، وهي الغرابتوليتات الذهبية التي تشبه العصا، لم تتسطح ولم تنثنِ. لكنها ربما تكسرت، وكثير

من الغرابتوليتات في هذه الصخور تكسرت عند أجزائها الرقيقة والضعيفة. فالضغوط التكتونية يمكن أن تحول هذه الأحافير إلى مقاطع معزولة، فإما تفصل بينها فجوات صغيرة، أو تتكدس جزئيًّا في وجه بعضها بعضًا، وذلك يعتمد على إنْ كانت قوى صنع الجبال قد مددتها أم ضغطتها. إلا أنها تعطينا أحجية تركيب صور جديدة لعالِم الأحافير المسكين، الذي عليه أن يحاول إعادة تركيب القطع ليستنتج شكل الحيوان الأصلي. ومما يريحنا في ذلك، داخل كل مقطع، أن البيريت الصلب قد حمى بأمانة الشكل التفصيلي لكل حجرة، من التشوه الكامل الذي أصاب بقية الصخر.

إلا أن هناك تأثيرًا آخر للضغط التكتوني، يضيف طبقة أخرى من التعقيد -إلى قصتنا وإلى الأحفورة أيضًا. وهي منحة لنا، فهو يحيك مقياسًا زمنيًّا آخر في الحصاة، سيمكننا من معرفة متى بالضبط ارتفعت جبال ويلز- والحصاة معها. إنه مقياس زمني يتصرف بطريقة مشوهة غريبة (وهو مقياس بحاجة إلى شيء من الحظ لكشفه). إلا أن التشوه نفسه يبدو أنه يخبرنا بشيء ما (ولسنا متأكدين حتى الآن منه) عن كيفية ارتفاع هذه الجبال.

ولعلنا نبدأ هنا بتذكر كشفنا الدقيق عن الغرابتوليتات من قالبها الصخري الذي يلفها، بالاستعانة بإبرة فولاذية مثبتة في حامل إبرة. فكل جسم من الغرابتوليتات تغلفه مادة هشة ضاربة إلى البياض، يمكن أن تصل سماكتها إلى المليمتر الواحد (اللوحة 4ب). وذلك الغلاف مصنوع من الميكا، وعادة ما يضحي به عالم الأحافير في محاولته للوصول إلى الأحفورة التي تحته. والسطح الخارجي لغلاف الميكا هذا يَحفظ بأمانة كذلك شكل الأحفورة، إلا أنه بحاجة إلى مهارة أكبر، وصبر أطول، وكثير من الحظ ليترك

هذا الغمد المعدني المرهف سليمًا وهو يكشف الأحفورة ببطء (وقد يهمهم أحدهم -وهو يفرك عضلات معصميه وكتفيه المتألمة حانيًا ظهره منكبًّا على مجهر- فيقول: الحياة أحيانًا تكون قصيرة جدًّا). فبالنسبة لعالم الأحافير، فإن ذلك الغلاف شيء مزعج. لكن بالنسبة لعالم بأزمان الأرض، يسعى إلى الوصول إلى تخمينات من الصخر لأرقام من ملايين السنين، فذلك الغلاف بالقياس إليه هو غبار الذهب.

وهناك تفسير بسيط لذلك الغلاف. (وبالمناسبة، هذا التفسير البسيط تفسير خاطئ، لكننا سنعتمد عليه لنبدأ منه شرحنا). فعندما تأثرت الغرابتوليتات الصلبة الممتلئة بالبيريت بقوى صنع الجبال، كان رد فعلها مختلفًا عما حدث للصخر الطيني الذي يغلفها. ولنعد إلى ما يحدث للكرات الفولاذية في المادة البلاستيكية المضغوطة بقوة (مع أنه في الواقع، تكون الغرابتوليتات التي يملؤها المعدن أشبه بمسمار فولاذي سميك). فإذا جربنا ذلك، ونظرنا بتمعن، فسوف نرى أنه أعلى مكان المادة البلاستيكية المضغوطة بقوة على الكرة وأسفلها، وهذا الضغط في الواقع يفرق بين أجزاء ذلك الجسم، هناك فجوة صغيرة بين المعدن والمادة البلاستيكية. وهذا ما يدعوه الجيولوجيون المختصون بحركة الصفائح التكتونية «ظل الضغط»، وهو منطقة محمية تدرأ عنها القوة المبذولة عليها. كذلك يحدث هذا الضرب من الأحداث عميقًا في جذور الجبال التي تتشوه بصور نشطة، حيث تنفتح فراغات في ظلال الضغط حول الأجسام الصلبة التي يحملها الصخر الطيني أو الإردواز، التي تتشوه بلَدَانةٍ أكثر مما حولها.

وتمتلئ هذه الفراغات من فورها بسائل حار غني بالمعادن. وفي الفراغات التي تشكلت حول الغرابتوليتات، هناك بلورات صغيرة جدًّا من الميكا الجديدة ترسبت من السائل. ومع استمرار الضغط المطبق عليها، تكبر الفراغات، ثم يملؤها السائل، ومن ثم يملؤها المعدن. ويمكن للمرء أن يتتبع نمو بلورات الميكا عن طريق شكلها- فهي تشكل عادةً أليافًا متبلورة تنمو عند نهاياتها. ويحاكي نمط الألياف الطريقة التي تملأ بها الميكا الجديدة الفراغات: فأحيانًا يمكن رؤية الألياف تنحني مثلًا مع دوران الغرابتوليتات ببطء داخل مغارة مجهرية، وهو تأثير آخر للضغوط التكتونية حولها.

إنها حكاية متقنة، ومن المؤسف أنها ليست حقيقية. أو بدقة أكبر: ليست كافية لشرح كل تلك الحقائق، وهذا أمر شائع جدًّا في الجيولوجيا، وفي العلوم إجمالًا. فالحقائق المزعجة تظل تشوّش على انتظام التفسيرات المتقنة - لكن بعد ذلك، فإن الحقائق المزعجة، بعد فهمها واستيعابها، يمكن أن توسّع فهمنا وتعمّقه بشأن كيفية عمل الأرض، حتى في أصغر المسائل وأكثرها غموضًا.

فهذه الأغلفة من الميكا لا توجد فقط على الغرابتوليتات التي يملؤها البيريت الصلب. فعلى الصخور التي خضعت لضغوط كتلك، تكون موجودة على قدر كبير من الغرابتوليتات، حتى على تلك التي بقي منها غشاء كربوني رقيق: غشاء لا يمكنه أن يكون حصنًا صلبًا يستطيع مقاومة الضغوط الهائلة، ولا حتى في الخيال. وبعض الأجسام الصلبة الأخرى في هذه الصخور، مثلًا كسرات صدف أو بلورات بيريت، لها غلاف معدني من حولها -

إلا أن هذا الغلاف ليس من الميكا بل هو من معادن أخرى، الغالب فيها عادة هو الكوارتز. إذن فما الذي يجري، أو ما الذي جرى؟

هناك عامل إضافي. ويبدو أنه المادة العضوية للغرابتوليتات، التي من الظاهر أن لها تأثيرًا محفزًا داخل هذه الكتلة الصخرية الحارة المتشوهة يسبب تبلور الميكا، لا المعادن الأخرى. إنه عامل يكشف عن انتقائية كيميائية ومعدنية خاصة أثناء صنع الجبال، ويركز على الدقة الكاملة للعمليات التي تجري في هذا العالم المستتر. ولعل ذلك أمر غريب، إلا أن هذا الدليل على الترابط الفعال بين المملكتين العضوية وغير العضوية يمكن أن يكون له أهمية كبرى أيضًا.

ولا ريب في أهميته لعلماء الأحافير. فبعض الأحافير المعروفة، خاصة طُفال بورغيس في مقاطعة كولمبيا البريطانية في كندا ولعله أكبر نافذة معروفة تطل بنا على الحياة الأولى، فيها مثل تلك الأغلفة البراقة من الميكا. وقد فسرت هذه في البداية بأنها بقايا أوحال نمت على الأحافير مباشرة بعد موتها (فحفظتها). لكن بينة الغرابتوليتات تشير إلى أن قشيرات الميكا لم تنم مباشرة بعد موت الأحياء بل بعد ذلك بملايين السنين، عندما حفزت القشور المكربنة للأحافير الكندية تبلورها داخل أعماق الأرض. وبذلك فالميكا لا تجيبنا عن مسألة بقاء هذه الحيوانات محفوظةً طرية الأجسام (مع أن بريق هذا المعدن يجعل منظرها واضحًا وجميلًا). ولفهم ما جعل هذه الكائنات المرهفة محفوظة فهمًا مقبولًا، علينا أن نبحث عن أسباب أخرى - على سبيل المثال ربما دُفنت عميقًا جدًّا وبصورة مفاجئة في انهيارات جليدية تحت سطح

البحر. لذا فقد تحتوي حصاتنا على لمحات يمكنها أن تتردد في نصف العالم عبر ملايين السنين.

وعلى كل حال، ومع أن هذه القصص تغدو أكثر تعقيدًا من ذي قبل، وأكثر صحة من ذي قبل (كما نأمل ونرجو)، فإن الظاهرة التي تبينها ربما تنطوي على أداة مفيدة بفائدة بسيطة. والسؤال البسيط هنا: متى تشكلت جبال ويلز؟ لقد كان هذا السؤال سؤالًا تصعب الإجابة عنه بصورة مباشرة. ففي الأحزمة الجبلية التي تظهر لنا أجوافُها مرتفعة الحرارة، نمت المعادن بصورة أكبر، والمعادن التي تحتوي عناصر مشعة مفيدة، كاليورانيوم مثلًا، يمكن عزلها وتحليلها رجاء أن يثمر ذلك عن تحديد عمر تبلورها - وبذلك نعرف زمن مرحلة الذروة في صنع الجبال.

لكن هذا الحظ لا يحالفنا في إردواز ويلز. فالميكا الجديدة التي تحدد النسيج الإردوازي تحتوي مقياسًا زمنيًّا كامنًا فيها: فالبوتاسيوم في هذه البلورات له نظير مشع يتفكك إلى غاز الأرغون الخامل. إلا أن البلورات عادة ما تكون بالغة الصغر، وبذلك تكون مختلطة مع حبيبات معدنية أخرى أقدم منها انجرفت إليها عند تراكم الطين، فلم يكن هناك طريقة ملموسة للحصول على عينة نقية بما يكفي لاستغلال هذه الساعة الذرية المميزة.

غير أن أغلفة الميكا حول الغرابتوليتات تمثّل على ما يبدو مصدرًا نقيًّا للمعادن، فهي نمت في تجويف يصل طوله إلى المليمتر (وهو كبير بمقاييس هذا التحليل الدقيق)، عندما انضغط الصخر وتحول، بفعل الضغوط التكتونية الهائلة. وفي أول مرة جرت فيها تجربة هذه الطريقة، حققت نتائج مباشرة؛ فقد تشكل المعدن قبل زمن

396.1 مليون سنة، زائدًا أو ناقصًا 1.4 مليون سنة. وكانت تلك الدقة دقةً غير معهودة للإردواز - تُجاري تقريبًا الزركونات البديعة، وتؤكد الهوة الكبيرة في الزمن الذي يفصل حادثة صنع الجبال عن الدفن العميق للطبقات الصخرية - وللحصاة (الذي حدث، كما بينت ساعة المونازيت وساعة الروبيديوم والاسترونشيوم، قبل 415 مليون سنة إلى 420 مليون سنة تقريبًا).

فهل ذلك حلّ فعّال لتأريخ تكوّن الجبال؟ ليس بهذه السرعة. فالمحاولات التي بذلت لتكرار الطريقة وتحسينها لم تسفر عن هذه الدقة الرائعة - والحق أن بعض النتائج بدت غير واقعية. وقد بذل شيء من العمل المجهد الدقيق لمعرفة السبب، فأطلق شعاع ليزري على طول مجموعة نقاط مجهرية متقاربة، عبر سماكة المليمتر بأكملها، من الفراغ الذي تملؤه الميكا. وقد أظهر ذلك أن بعض أجزاء الميكا تعطي بانتظام أعمارًا قريبة من 395 مليون سنة، لكن كانت هناك بينها مناطق، تفصل بينها فراغات منتظمة، أعطت أعمارًا أقدم من ذلك - وهي أعمار موغلة في القدم غير واقعية تمتد إلى مئات ملايين السنين قبل تشكل الصخر نفسه. وكان فيها الكثير من الأرغون. وكانت المحاولة الأولى قد أخذت عينات من مقاطع نقية، بلا أي مصادفة، من المادة المتناسقة.

إنها حالة أخرى لساعة ذرية جرى تدويرها إلى الأمام، لكن هنا حدث ذلك فقط لأجزاء منها، أما الأجزاء الأخرى فيبدو أنها تعمل بصورة جيدة جدًّا. (ولا يزال بإمكاننا الاستفادة من هذه الساعة، لكن ينبغي التعامل معها بحرص شديد). و«إعادة الضبط» الجزئية هي الإضافة الدورية «للأرغون الفائض» إلى البلّورة

النامية، والطريقة المتناغمة التي يبدو أن ذلك تم بها تفترض (ربما!) نوعًا ما من العمل المتناغم رافق صنع الجبال، وربما كان ذلك بدفقات من السوائل عبر كتلة الصخور التي تتشوه.

فهل كانت تلك الدفقات خفقان حزام جبلي. ما زال ذلك لغزًا آخر يضاف إلى قائمة الأسرار الغامضة، التي لا تزال مرصوصة بإحكام في حصاتنا. ويستمر العمل، مرة أخرى. وما زال هناك ما ينبغي القيام به. فنرى أحيانًا، في ألياف الميكا التي تحيط بهذه الأحافير، نرى بلورة ليفية لها تركيب كيميائي مختلف جدًّا - مع أنه تركيب أصبح مألوفًا جدًّا لنا في سياق سابق. فالمونازيت تبلور، بصورة نادرة جدًّا، في هذا الوسط، وهو ما يعني أنه بطريقة ما، انساب ما يكفي من السوائل بين الفينة والأخرى، مارًّا بهذه الأحافير، لينقل ويبلور من جديد تلك العناصر الترابية النادرة غير الذوابة تقريبًا، وذلك مع تشوه الصخور شبه الجافة التي تحيط بها. وهذا يحتمل أنه يمثل ساعة ذرية أخرى أيضًا تستخدم لتحديد عمر صنع الجبال. لكن بلورات المونازيت في هذا الجيل «التكتوني» صغيرة جدًّا، وتحتوي مقادير صغيرة جدًّا من اليورانيوم. وقراءة هذا المقياس الزمني المميز مهمة مثبطة: وربما كانت تحديًا أمام الجيل القادم من أجهزة العدادات الذرية (والجيل القادم من العلماء)).

لقد وصلنا الآن إلى أبعد نقطة في رحلتنا - وأكثرها تطرفًا، فيما يتعلق بالظروف التي تحملتها حصاتنا. فعند هذه النقطة، فإن الحصاة عمليًّا لها الشكل الذي هي عليه اليوم، وهي تستلقي في راحة يدي - على الرغم من أنها طبعًا ما زالت محاطة بالصخور

من كل جانب، التي تعلوها بكيلومترات متعددة، وتمتد تحتها لآلاف الكيلومترات.

إلا أنها ستبقى محاطة بالصخور، لنحو 400 مليون سنة أخرى. وفي ذلك الزمان، سوف تصعد، مع تضاؤل الجبال التي تعلوها، نتيجة تأثير الريح والعوامل الجوية الأخرى، وسوف تبرد. وستحدث أحداث كثيرة على الأرض فوقها، قريبًا منها وبعيدًا عنها؛ بعضها بطيء ولطيف، وبعضها عنيف وكارثي. إلا أن قليلًا منها له تأثير على حصاتنا، المعزولة عن الجلبة والصخب من فوقها.

وقبل أن تبدأ نومها الطويل، ما زالت هناك بعض التبدلات التي ستطرأ على نسيجها. فمع بدء رحلتها إلى الأعلى، ومع تراخي ملزمة القشرة الأرضية التي تمسك ويلز في قبضتها، ستدخل الحصاة منطقةً تتكسر فيها الصخور بدلًا من أن تنثني، وتنشأ فيها العروق المعدنية التي مر عليها أجيال من عمال المناجم في ويلز. لقد حان وقت زيارة مصنع الفلزات البديع.


12

# اختراق السطح

## أنابيب التوصيل الصخرية

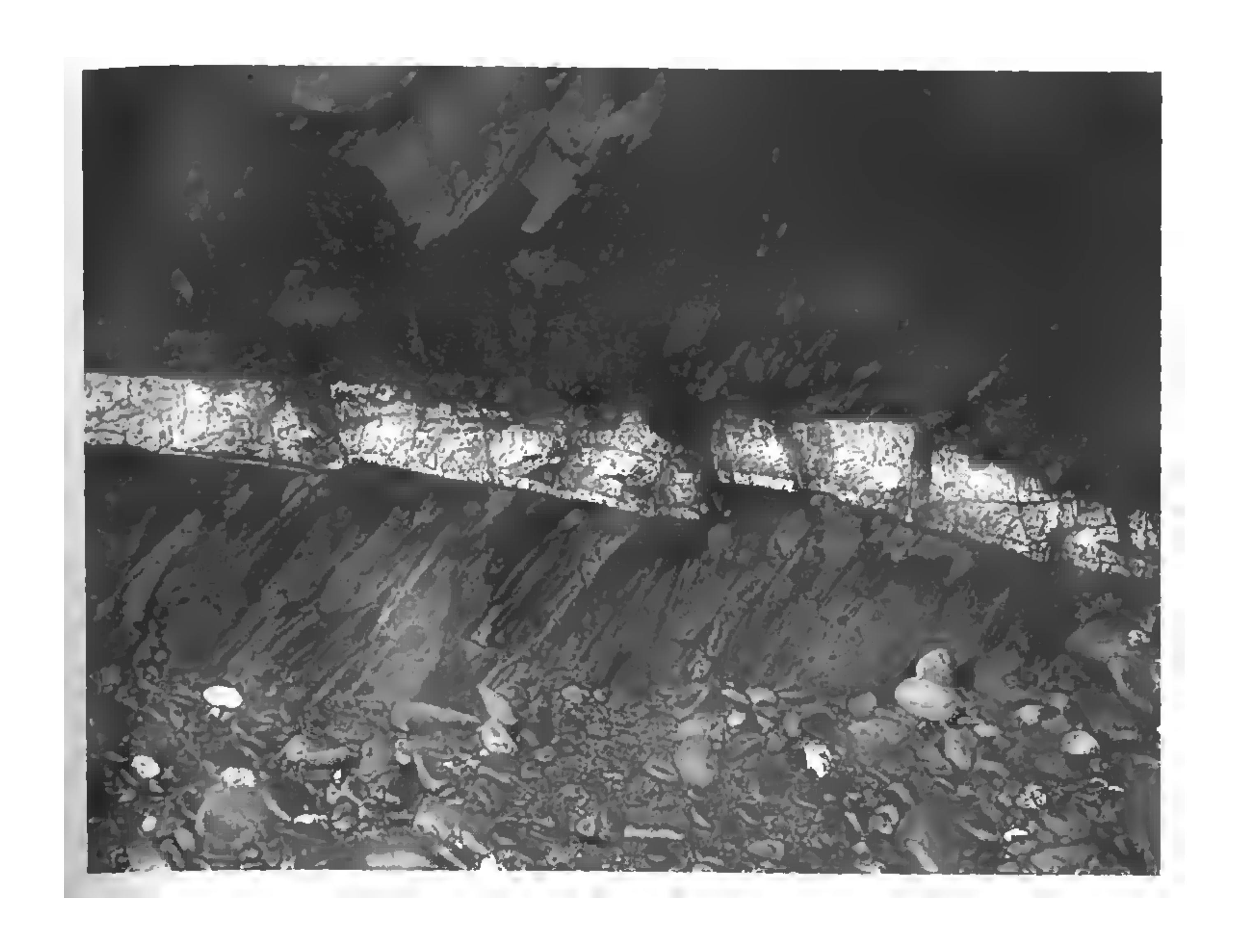
الحصاة شيء صغير، لكنها جزء متكامل تمامًا من مصنع فلزات. وقد أَنتج هذا المصنع النحاس، والفضة، والزنك، والرصاص، والذهب (الذهب الحقيقي، لا البيريت نسختَه الزائفة من كبريتيد الحديد). إنه مصنع بطول نحو 100 كيلومتر، وعرض نحو 60 كيلومتر، وعمق نحو 6 كيلومترات. واسمه ويلز. وقد مرت على الفلزات أجيال كثيرة من عمال المناجم في ويلز، فحيرتهم، وأحبطتهم، وهجروها في النهاية. فالواقع أن مئات كثيرة من الأجيال، كانت تسعى وراء هذه الفلزات بدأب، منذ العصر البرونزي على الأقل، قبل أكثر من 3000 سنة، عندما حفرت مهاوي المناجم في الصخر القاسي بما يشبه قرون الوعول وحجارة الرصف المدورة.

وليس تعقب الفلزات تحت الأرض بالعمل السهل، فمسارها متعرج، ووجودها متقلب، والوسط المحيط بها خطير. لقد احْتِفُيَ بعمال المناجم في ويلز في موطنهم في التراث الأدبي والغنائي، وكذلك في أماكن تفاجئك، حيث صورهم صانع الأفلام الياباني «هاياو ميازاكي في فيلمه « قلعة في السماء (Hayao Miyazaki. Castle in the Sky) وعلى الرغم من أنه كان فيلم رسوم متحرّكة للأطفال، فإنه كان فيلمًا جادًّا عميقًا في

جوهره، مثل كل أفلام الرسوم المتحركة التي يصنعها ميازاكي).
إذن فكيف نشأ مصنع فلزات بحجم بلد؟ هناك كسرات صغيرة جدًّا من الجواب تسكن في حصاتنا.

هناك مسحة من البياض تقطع الحصاة، تقطعها عبر سطحي الطبقات الصخرية والانفصام التكتوني. ولا بد أنها كانت أصغر سنًّا عندما قطعت هذين النسيجين. إن إثبات ما جاء أولًا، وما جاء تاليًا، هو جوهر الجيولوجيا، وقد كان كذلك منذ البدايات الأولى لهذا العلم، حتى قبل أن يحدَّد الزمن الجيولوجي ويقاس عن طريق تطبيق الساعات الذرية ووضع النطاقات الزمنية للأحافير. وبالنسبة لكل أجهزة اليوم، من العدادات الذرية اللامعة، والمكتبات والمتاحف حسنة التجهيز، فإن هذا النوع من المنطق ما زال أول شيء يطبقه الجيولوجي عندما يدرس أي مشكلة جديدة وغير مألوفة.

لكن ما هو الشيء الأصغر سنًّا في الحصاة؟ إذا أمعنا النظر بالعدسة اليدوية، فسنرى أن مسحة البياض ليست إلا عرقًا معدنيًّا: إنها كتلة من البلورات الصغيرة جدًّا نمت داخل شق في الصخر. وتلك ظاهرة شائعة، شائعة جدًّا، لدرجة أنه حتى الجيولوجي المبتدئ سرعان ما يميزها من أول وهلة - بأنها عرق من معدن أبيض يملأ الشق ويمكن أن يكون ذلك المعدن هو الكوارتز، أو الكالسيت، أو الباريت، أو الجص. وهذه المعادن تبدو متشابهة بصورة محيرة جدًّا، وتتطلّب منا إلقاء نظرة وثيقة عليها. فالمعدن في عرق الحصاة له بريق الزجاج، وذو مستويات تكسر منحنية، وليس ثقيلًا بصورة كبيرة، ولا يفور بالأحماض، ولا يمكن حكه باستخدام نصل فولاذي - إذن فالغالب أنه الكوارتز.



الشكل 9 - عرق كبير من الكوارتز في الصخور

وللبحث عن أصول هذا الكوارتز، علينا أن ننتقل في الزمن إلى ما بعد ذروة الحرارة والضغط ببعض ملايين السنين. فقد انتقلت هيئة الحصاة إلى مستوًى أعلى، مع تحاتِّ الجبال أعلاها، ومع تحرك القشرة الأرضية إلى الأعلى نتيجة الحت. وتدعى هذه الظاهرة باسم ظاهرة الاتزان، وهي مثال بمقياس كبير لما يحدث من ارتفاع مركز الجاذبية لجبل جليدي فوق الماء مع ذوبان قمته.

وفي الأقاليم المرتفعة، يصبح الصخر أكثر برودة (فتهبط درجة حرارته مرة أخرى إلى 100 درجة مئوية)، ويصبح بذلك أكثر هشاشة، وأكثر ميلًا إلى التشقق -منه إلى الانحناء- نتيجة الإجهادات من حوله.

وهذه الشقوق تمتلئ بالسوائل الآتية من العالم الحار أسفلها. فالسوائل، مع توزعها عبر شبكة هائلة من الشقوق المملوءة، تتصل باستمرار بالصخور التي تشكل جدران الشقوق. فتحل عناصر معينة منها - كالسليكا، وكذلك تحل نسبة ضئيلة من المقادير الصغيرة جدًّا من النحاس والرصاص والزنك (والذهب والفضة أيضًا) الموجودة في تلك الكتلة الضخمة من الصخور الطينية. ومع صعود الماء إلى مستويات أعلى، وتبرده، لا يمكنه بعد ذلك الاحتفاظ بكل تلك المواد في المحلول، فتترسب هذه المواد في فجوات تلك الشقوق، مالئة إياها بالكوارتز - وتمتلئ بعض الأماكن بكتل من ركاز الفلزات.

وعادة ما تمر الفلزات عبر منظومة ترحيلية، قبل أن تصبح ركازات في العرق الصخري. فهي تسافر بصورة رئيسة تحت الأرض على شكل كلوريدات فلزية، وهو شكل ذواب بصورة معتدلة. لكنها عندما تترسب، فإنها عادة ما تترسب بشكل كبريتيدات. وفي عملية التوصيل بالأنابيب المعقدة لعالم ما تحت الأرض، تلتقي السوائل المحملة بالفلزات، مثلًا، بالسوائل المحملة بكبريتيد الهيدروجين، والكبريت فيها ربما أتى بدوره من نوع من الرقائق الغنية بالمواد العضوية التي نراها في الحصاة. وتلتقي السوائل، فتترسب كبريتيدات الفلزات.

فما أجملها من أشياء! لكن فيها جمالًا لا يرى باستخدام المجهر القياسي الذي يستخدمه الجيولوجيون للنظر إلى شرائح رقيقة من الصخور، وذلك لأن كبريتيدات الفلزات كامدة، وتظهر سوداء بذلك المجهر المعتاد. لكن إذا أضاء المرء ضوءًا من الأعلى، بدلًا من أن يضيئه من الأسفل، فيمكن له أن يرى انعكاسات الألوان الزاهية والدافئة للبيريت والكالكوبيريت، والغالينا (كبريتيد الرصاص) والسفاليريت (اللوحة 4ج-هـ)، وإذا كان المرء محظوظًا جدًّا فسيرى اللون الأصفر الواضح لذهب ويلز الجيد. إنها حديقة معدنية صغيرة جدًّا، لكن فيها أغرب الأزاهير.

ولننظر عن قرب إلى العرق الصغير جدًّا في الحصاة، فربما كان فيه بقعة أو بقعتان من ركاز الفلزات داخله، وربما لم يكن فيه ذلك. إلا أنه من المرجح جدًّا أن يحمل العرق كنزًا أكثر غنًى كذلك: إنها ذاكرة لدرجة الحرارة التي تشكَّل عندها، محفوظة في عينات صغيرة مجهرية من الماء والغاز الأحفوريين - وهي المكونات نفسها للسوائل التي تشكل منها العرق المعدني. فمنها يمكن للمرء مخبريًّا أن يعيد إنشاء شيء من الظروف التي كانت داخل الشق الصخري تحت الأرض الذي اختفى منذ زمن بعيد. ولنحضِّر بحرص شظية مسطحة من عرق الكوارتز، أكثر سمكًا بقليل من المقطع الرقيق المعتاد من الصخر المستخدم في التحليل. ثم لنضعها في مجهر مصمم بطريقة خاصة بجهاز تسخين داخلي، ولنتفحص الشظية بمستويات التكبير العالية. سيبدو الكوارتز وقد ظهرت فيه فقاعات مبعثرة من سائل، حبيسة داخله، وداخل كل قطيرة سائل هناك فقاعة صغيرة من الغاز.

ولنشغِّل المشع الحراري عند منصة المجهر، ولنراقب ما يحدث. فعند درجة حرارة معينة، ستختفي الفقاعات الغازية بانحلالها من جديد في السائل. وذلك يمثل، بصورة واضحة إلى حدٍّ ما، درجة الحرارة التي نمت فيها البلورة الأصلية، داخل شقها عميقًا في الصخر، عندما احتجزت ذلك الجزء الصغير جدًّا من السائل الذي بللها وغذاها عند تشكلها.

لكن في أيامنا هذه، بوسع المرء القيام بالمزيد. حيث يمكن أن نقذف فقاعة الغاز بالليزر، ونلتقط العناصر المتبخرة لنضعها في مطياف الكتلة، ونحلل تركيب السائل: فنعرف تركيزاته من ثاني أكسيد الكربون، والصوديوم والبوتاسيوم (وعادة ما يكون السائل غنيًّا بالأملاح)، والعناصر الأخرى. ويمكن القيام بتحليل إضافي بأن نفحص عن قرب شكل البلورة وتركيبها الكيميائي في حشوة العرق، لبناء تاريخ الشق عندما امتلأ بالمعادن.

وربما كانت تلك العملية عملية بطيئة ومنتظمة - والواقع أنها ربما كانت مثيرة، تجاري أوصافًا خيالية معروفة لعالم ما تحت الأرض. لكنها ليست أوصافًا لمركز الأرض كما تصوّره جول فيرن (Jules Verne)، وفيه مغاور عملاقة تضيء على نحو غامض، وتحتوي هواءً يصلح للتنفس، وفيه محيطات وجزر، وديناصورات أيضًا، يصارعها أبطال الرواية. فتلك الفكرة العظيمة مستحيلة (مهما أكّد خلاف ذلك الأستاذ الجامعي الرهيب هاردويغ [بطل رواية فيرن]). فعالَم ما تحت الأرض مغمور بالسوائل بصورة تامة (ومناجم العمل العميقة تُضخ منها السوائل باستمرار لتبقى جافة)، وليس فيه ديناصورات للأسف، ولا يمكن للمستكشفين اختراقه، مهما بلغوا من الجرأة والبسالة.

وبين حين وآخر، قد يلتقط المرء بصيص فكرة عن الأعمال التي جرت في عرق الكوارتز. فبعض عروق الكوارتز، التي جرى تحليلها بحرص بالغ، تبين أنها تحتوي بلورات ذات طرفين مستدقين، لا بد أنهما نموا مع انقطاع السوائل عن البلورات. ولا يمكن أن تنقطع السوائل عن بلورات الكوارتز وهي تنمو إلا إذا كانت السوائل تندفع سريعًا إلى الأعلى بسرعات كافية (تصل إلى متر في الثانية) لإمدادها، مثل الكرات المتوازنة فوق نافورة ماء.

وهكذا فلم تكن منظومات الشقوق التي تحت الأرض منظومات غير فاعلة تمتلئ بالسوائل ببطء، بل كانت أشبه بمنظومة أنابيب الرسام الكرتوني هيث روبنسون، أو بصمامات مؤقتة وكتل يصل فيها الضغط إلى أن ينطلق بصورة انفجارية، مع اندفاع سائل يغلي، ويهبط الضغط ليساعد على التبلور السريع - «الفوري» تقريبًا. وبعض المنظومات التي من هذا النوع يمكن أن تكون مضبوطة بطريقة جيدة تمامًا - شاهد انضباط نبع أولد فيثفول الحار في حديقة يلوستون الوطنية الأمريكية (الذي يمثل النهاية العليا لإحدى هذه المنظومات؛ لكنها منظومة تسخنها البراكين).

وكحال أي منظومة أنابيب من الطراز القديم، فهي تعمَّر طويلًا، كما أنها تعمل بصورة متقطعة. والحق أنها بدأت بالعمل منذ زمن طويل، عندما بدأ الطين بالترسب والتراص تحت ثقله هو. إلا أن عروق الكوارتز المتميزة، والعروق الفلزية التي بداخلها، غالبًا ما يعود عمرها إلى هذا الجزء المتأخر من تاريخها.

دقة ضعيفة

من الآن فصاعدًا ستستمر الحصاة في المرور بأحداث وتغيرات، إلا أن قليلًا منها سيترك أثره عليها. وعلى سبيل المثال، سوف تهتز بصورة دورية بفعل الهزات الأرضية - ففي أيامها تحت الأرض تتردد آلاف مؤلفة من الهزات الأرضية، تتولد بالقرب منها، أو بعيدًا عنها. ولا ريب أنه بينما كانت الجبال في ارتفاع، كانت المنطقة زلزالية نشطة، وبعض الهزات الأرضية التي تولدت هنا كانت قوية بقوة أي زلزال يهز اليوم جبال الأنديز أو الهيملايا. إلا أن تلك الهزات لا تترك إلا أثرًا ضئيلًا، ليس أكثر مما تحتويه جدران الملاعب الرياضية من تسجيلات لصيحات حشود المشجعين الذين مروا عليها.

لكن ذلك ليس صحيحًا تمامًا. فعلى مقربة من خط الصدع، حيث تتولد الهزات الأرضية، يمكن أن تصاب الصخور بالخدوش، أو تتصل ببعضها بعضًا، أو تتكسّر وتتهشّم. وعندما تمر الهزات الأرضية عبر الصخور الهشة ضعيفة التماسك، التي تشبه الكعك الهش إلى حدٍّ ما، يمكن أن تنتج مجموعات من التشققات المبطنة بالطين. إلا أن ذلك تسجيل ضعيف لهمهمات وزمجرات الأرض وهي تستجيب للهزات الأرضية التي تمر عبرها - إنها دقة تسجيل ضعيفة جدًّا ولا شك. لقد اخترع الإنسان وسيلة لصنع أحافير مفصلة لأمواج الضغط العابرة، باختراعه الأسطوانات القديمة التي تدور بسرعة 78 دورة في الدقيقة، ثم اختراعه مسجلة الأشرطة، ثم الأقراص المدمجة اليوم - كذلك اخترع مقياس

الزلازل الأقل جاذبية عاطفية، لكنه مناسب جيولوجيًّا طبعًا. إن ذلك ضربٌ جديد في المفهوم والواقع من صنع الأحافير، ليس له مثيل سابق في 4.5 مليار سنة، ليس في نظامنا الشمسي على الأقل. والآن أصبح لديك فكرة عليك أن تحفظها في ذهنك وأنت تسترخي وتستمع إلى غناء الأوبرا بصوت المغنية الأمريكية كالاس، أو المغني الإيطالي كاروزو.

هذه الهزات الأرضية التي قاستها حصاتنا، (رغم أنها لا تحدّثنا عنها اليوم) جاءت في موجات اضطراب. وحدثت الموجة الأولى بصورة طبيعية، أثناء عملية صنع الجبال، التي ارتفعت بها جبال ويلز، والأرجح أن الموجة ازدادت عندما تراخت الضغوط، بعد بضعة ملايين السنين، فغرقت كتل من القشرة الأرضية بين كتل أخرى ظلت مرتفعة. ثم بعد نحو 50 مليون سنة، ثارت هزات أرضية جديدة، لعلها سحبت حصاتنا بشدة إلى الأعلى مرة أخرى، عندما علقت ويلز في ملزمة تكتونية أخرى، في حين كان جزء آخر من المحيط في الجنوب يتبدد في أعماق الأرض. ولا يمكن للمرء أن يلتقط أي شيء من هذه الأحداث من الحصاة: وقد زادت مشقة ذلك بسبب التقلبات الأولى، فلم تأخذ إلا علامة مباشرة صغيرة من هذه الضغوط الجديدة، أو أنها لم تأخذ أي علامة نستطيع كشفها حتى يومنا هذا. كما لم يمكنها الاحتفاظ بأي تسجيل ملموس لنحو 200 مليون سنة بعد ذلك، عندما استجابت القشرة الأرضية لبناء جبال الألب في جهة بعيدة، وظهور المحيط الأطلسي في الجهة الأخرى مع أصوات الصرير والأنين والانزياحات. فعلى سبيل المثال، وعلى بعد بضعة عشرات الأميال إلى الشمال، كان جزء من البحر الأيرلندي اليوم قد استقر

على طول أكثر من ثلاثة كيلومترات من خط صدع رئيس، وامتلأ بأوحال أحدث سنًّا من طين حصاتنا.

وربما تغيرت هيئة الحصاة أيضًا بصورة رقيقة إلى حدٍّ ما، بسبب هزات الزلازل القوية في الجانب الآخر من العالم - كما يحدث اليوم عندما يلتقط مقياس الزلازل في لندن أو نيويورك إشارة من زلزال كبير آتيةً من المحيط الهادي مثلًا. وهناك أحيانًا رجفة أكبر تأتي من مصدر مختلف، كل بضعة ملايين السنين، عندما يصطدم نيزك كبير بمكان ما من الأرض. فالنيزك الذي ضرب المكسيك، والذي يشتبه بأنه قضى على الديناصورات قبل 65 مليون سنة، جعل كوكب الأرض كله - سواء أُدين بجرم إبادة الديناصورات أم كان بريئًا منه - جعله يرن كأنه الجرس. وحتى على بعد 1000 كيلومتر من موقع الاصطدام، زلزل النيزك بنية الأرض بما يكافئ تقريبًا الدرجة 13 على مقياس ريختر - وهو أقوى من أي زلزال أرضي عملاق بآلاف كثيرة من المرات. كذلك ارتجفت هيئة الحصاة، مع أنها لا تزال جزءًا ثابتًا من الطبقات الصخرية تحت الأرض، ارتجفت مع مرور أمواج الاصطدام من خلال الحصاة. وإذا كان بوسع المرء، مرة أخرى أيضًا، أن يعود في غياهب الزمن والمكان إلى هيئة الحصاة كما كانت حينئذ، فلا بد أن يغويه إدخال حساس لجهاز قياس الزلازل عليها (له بطاريات ذات عمر طويل جدًّا)، لالتقاط تلك الاهتزازات العابرة.

إن غالبية ما بقي من التاريخ، في امتداده القريب لنصف مليار سنة، مر على الحصاة مرور الكرام في إقامتها الطويلة تحت الأرض. مع أن عالم السطح، الذي يعلوها ببضعة كيلومترات فقط، ربما ابتعد أيضًا مليون ميل. لقد تغير ذلك العالم تغيرًا كبيرًا

جدًّا، مما كان عليه من مظاهر أرضية جدباء في غالبيتها، إلى مظاهر أرضية سرعان ما ضجت بالحياة. وبينما كانت الحصاة مطمورة في مناطق عميقة وحارة، بما يكفي لرشح النفط منها، كانت الأسماك المدرعة بالدروع الثقيلة تسبح خبط عشواء من فوقها، مستوطنةً أنهار أفالونيا. وبعد وقت قصير (جيولوجيًّا)، اكتست الأرض باللون الأخضر مع انتشار النباتات فوقها. ثم بعد ما لا يزيد كثيرًا على 50 مليون سنة، بعد بدء الحصاة في قضاء مدة حبسها تحت الأرض، كانت النباتات الوافرة في غيضات الفحم الكربونية تتكاثر حول جبال ويلز. وعندما جفت الغيضات، وماتت النباتات، لتحل محلها الصحاري القاحلة في العصرين البيرمي والترياسي، كانت الحصاة حيادية تمامًا في ذلك التحول. ثم استسلمت كل أنواع الكائنات في الأرض تقريبًا للكارثة (التي هي حتى اليوم كارثة غامضة؛ لكنها ربما كانت اختناقًا جماعيًّا في البر والبحر) في نهاية العصر البيرمي، قبل نحو 250 مليون سنة.

وقد غير ذلك بصورة مثيرة كل أشكال الحياة على الأرض (التي نشأت من البقية الباقية)، لكن الحصاة كانت كذلك غير متأثرة بصورة كبيرة - كما كانت عندما ارتطمت البحار العائدة في العصر الجوراسي بالشواطئ المحيطة بجبال ويلز، عندما كانت الديناصورات تعبر هذه الهضاب، ومنها في غالب الظن التنين الأحمر الأصلي [شعار ويلز اليوم] في تلك الأمة الناشئة.

على أنه في مرحلة معينة، ستبدأ الحصاة في «الشعور» بسطح الأرض، مع أنها ما زالت تقيم في أعماق الأرض. فطبقتها الصخرية الأم كانت تقترب ببطء من السطح بضعة سنتيمترات كل ألف سنة، وذلك مع تضاؤل الجبال فوقها. فمع تقلص الكتلة الصخرية المتموضعة فوقها، تقلص كذلك الضغط الذي تبذله على الصخور تحتها. وهذه الصخور، التي لم تعد متماسكة بإحكام، يمكن أن ترتخي، وتتمدد تمددًا غير ملحوظ تقريبًا باتجاه الأعلى. فحتى اختلافُ الحجم الصغير الصغير كافٍ لفتح شقوق صغيرة - فوالق - في الصخر. وتتمدد هذه الشقوق إلى الأعلى، صاعدةً إلى الصخور التي لها أيضًا ضغط أقل عليها، ثم إلى الأعلى فالأعلى، إلى أن تتصل في نهاية المطاف بالصخور المتضامة بقوة عند السطح.

والفوالق هي مسارات تسلكها السوائل: لم يعد هناك سوائل صاعدة عصرتها الصخور نفسها، بل هي سوائل ترشح إلى الأسفل، آتية في مبدئها من الأمطار التي تهطل على هذه الجبال المتحاتة. ويُحضر الماء معه وفودًا قادمة من السطح. فالأكسجين على سبيل المثال، ينحل في ماء المطر، إلا أنه يُستهلَك عادةً تحت الأرض قبل وصوله إلى التجاويف العميقة. لكن هناك مركبات كيميائية أخرى، مثل ثاني أكسيد الكربون المنحل من السطح، ناهيك عن القوة البسيطة للماء الذي يعمل مذيبًا، ويعمل عمله على السطوح التي ينساب عليها.

وتعود الحياة أيضًا بعد غيابها لمئات ملايين السنين. فالميكروبات في مرحلة معينة ستعود لتقيم، إن لم تكن تقيم بعدُ في مكوّنات الحصاة نفسها، فعلى الأقل ستقيم في الشقوق والزوايا والصدوع، التي ربما يكون عرضها بضعة أجزاء من الألف من المليمتر، وربما على بعد سنتيمترات فقط. وهذه الميكروبات لن تقود الحياة النشطة، كالميكروبات التي بقيت طويلًا في الرحلة المتجهة إلى الأسفل، بل هذه الميكروبات لها استقلاب بطيء، وعندها صبر كافٍ لتبقى تقتات على الفضلات الهزيلة في هذه المستويات العميقة تحت الأرض.

وتشعر الحصاة بتغيرات أخرى أيضًا. فتشعر بحرارة الشمس. لكنها لا تشعر بها بصورة مباشرة، كحالها محمصةً على الشاطئ، ليس بعد، فعليها أن تنتظر ملايين السنين لحدوث ذلك. لكنها حتى الآن تزداد حرارة باطن الأرض بصورة رئيسة، والفصول المتعاقبة في الأعلى لم يحس بها ذلك الدفء المتوازن والمستقر. فسوف تستغرق بعض الوقت أيضًا، لتخترقها التغيرات الفصلية، وتحس بالأحوال الجوية.

إلا أن الأحوال الجوية ليست نفسها المناخ. فالتغيّرات الكبيرة الأوسع مدًى لمناخ الأرض ستصل إلى حصاتنا تحت الأرض، قبل وقت طويل من وصول تعاقب دفء الصيف وبرودة الشتاء إليها. ولعل الحصاة الآن، قبل بعض ملايين السنين، هي على عمق مئات الأمتار تحت السطح. تتبرد مع اقترابها من السطح، وكلما اقتربت من السطح ساعدها الماء المناسب في التخلص من حرارة الأرض. ثم بعد ذلك ستجد حرارة السطح - أو برودته - طريقها إلى الحصاة في الأسفل.

لقد كان مناخ الأرض يتغير آنذاك. وكانت هذه التغييرات تمر إلى الأسفل ببطء عبر الحصاة، وفي النهاية أثرت في شكل الحصاة؛ فأخرجت شكلها من شكل الطبقة الصخرية التي تلفها. فعندما كانت مكونات الحصاة تتشكل على هيئة حبيبات تحط على قاع البحر السيلوري، كان قاع البحر ذاك يقبع بعيدًا جنوبي خط الاستواء. والآن، عندما باتت تقترب من السطح مجددًا، أصبحت في الشمال البعيد. كما أن التغييرات التي ستلحق بها هي تغييرات شمالية، وكانت تلك تغييرات متأخرة. ولو تشكلت الحصاة في جزء آخر من العالم، فلعل القشرة الأرضية التي تشكلت الحصاة فوقها حملتها جنوبًا لا شمالًا، بتأثير تيارات الصخور شبه الجافة الناشرة للحرارة في أعماق الأرض. وبعد ذلك ضربتها التغييرات المناخية في وقت مبكر.

ففي طور التبرد الحالي للأرض، تشكل الجليد أولًا في القارة القطبية الجنوبية، قبل أكثر من 30 مليون سنة، ولذلك فقد تبرد أغلب نصف الكرة الأرضية الجنوبي منذ ذلك الحين. أما هنا في الشمال، فقد تشكل الجليد العظيم متأخرًا، قبل أقل من 3 ملايين سنة، وكان تشكله علامة على تجلد القطبين الذي يميز العالم الذي نعيش فيه اليوم. ومع نمو غطاء لوران الجليدي [في كندا اليوم] (بوساطة ما يعتقد أنه تأثير «مدفع الثلج» من بخار الماء الدافئ فصليًّا، القادم من شمالي المحيط الهادئ، ويهب عبر قارة أمريكا الشمالية الباردة)، ومع نمو الغطاء الجليدي في غرينلاند واسكندنافيا، ينتشر البرد ويتشكل الجليد على مرتفعات اسكتلندا وجبال بينينز - وفي ويلز.

أما الحصاة، فقد شكل ذلك ثقلًا إضافيًّا عليها (من مئات الأمتار من الجليد)، أوقف حركتها باتجاه الأعلى، وأجبرها لبرهة على النزول إلى الأسفل، مع القشرة الأرضية التي تضمها. لكن إذا نما شيء من الجليد، وأصبحت الأرض باردة جدًّا، فإن الأرض (أو بالأحرى أي ماء يكون فيها) سيتجمد ببساطة تجمدًا قاسيًا كالحديد، وذلك التجمد سينتهي به الأمر إلى اختراق أعماق من عشرات الأمتار ثم من مئات الأمتار، كما في الأراضي العظيمة دائمة التجمد من سيبيريا وكندا اليوم. إن مليارات من أطنان الصخور دائمة التجمد، المعزولة بالتربة والنباتات في أعلاها، استغرقت ألوفًا من السنين لتتشكل، وألوفًا من السنين لتذوب عندما أصبح المناخ دافئًا. والسطح العلوي فقط - المتر الأعلى أو نحو ذلك الذي هو «الطبقة النشيطة» - يذوب في وقت قصير في كل ربيع وصيف، ليتجمد من جديد في الخريف والشتاء الطويلين.

لقد شاعت في تضاريس بريطانيا علامات الأرض دائمة التجمد البائدة في أطوار جليدية من العصر الجليدي، فكان منها الأتربة المضطربة (البقايا الأحفورية في الطبقة النشيطة)، والمنخفضات الأرضية الدائرية التي كانت يومًا بثراتٍ جليدية عملاقة، والأنماط المميزة للشقوق التي تشكلت مع تجمد الأرض وتصدعها؛ نتيجة تقلصها. وكانت الطبقة الصخرية لحصاتنا بلا ريب غالبًا دائمة التجمد بسبب تموضعها بقرب السطح في المليون سنة الأخيرة أو نحو ذلك - ربما مرات قليلة فقط، فقد كانت هناك أطوار جليدية كثيرة في العصر الجليدي. ونظرًا إلى أن الأرض دائمةُ التجمد بطيئة التشكل وبطيئة الذوبان، فإن حالة حصاتنا (المتجمدة سريعًا أو الدافئة) لم ترتبط مباشرة بكون المناخ في الأعلى ذا درجة حرارة باردة قارسة أو دافئة لطيفة. وهكذا تمر دفقات من الدفء

والبرودة عبر الكتلة الصخرية تحت الأرض، تتبع ببطء درجات الحرارة فوق السطح في الأعلى، ومتأخرة عنها سنوات كثيرة. والواقع أنه بوسع المرء (بقليل من البراعة) أن يقلب الأمر لمصلحته، فيستغل ذلك التأخير، ويقيس نمط درجات الحرارة للأرض في الحفر الأرضية، فيعيد بناء تاريخ المناخ من نمط مرور أمواج البرودة والدفء عبر الأرض (التي ما زالت تمر عبرها).

وهكذا فإن هناك نوعًا من الأحوال الجوية بطيئة الحركة تحت الأرض، نوعًا ما، تكمِّل التغييرات المناخية الجارية في الأعلى. لقد أصبحت حصاتنا الآن قريبة جدًّا من السطح، وارتفاعها إليه وظهورها في النهاية يعتمد على الظروف المناخية. والواقع أنه ربما زادت سرعة ارتفاعها نتيجة البرد والجليد الناجمين من توسعات الغطاء الجليدي. فمع أن الجليد ثقيل ويضغط على القشرة الأرضية اللينة باتجاه الأسفل، فإنه أيضًا مادة ساحجة، تسبب تحات الجبال التي تشكل جزءًا من تلك القشرة الأرضية. ومع تحول تلك الجبال إلى أطلال، وانتقالها إلى مستوًى أرضي أدنى، مثل غضاريات الجلاميد أو الرمال أو الحصباء، فإن القشرة الأرضية ترتفع إلى الأعلى لتعوض ذلك، فتزداد سرعةُ تقدم الطبقة الصخرية للحصاة باتجاه السطح، ويقترب موعد لقائها بقوى الحتّ من الرياح والأمطار.

ويبدأ البرد عملية الحت، بينما لا تزال الصخور تحت الأرض. فعند تشكل الأرض دائمة التجمد، يتحول الماء تحت الأرض إلى جليد. والجليد أقل كثافة من الماء - وهي ملاحظة بسيطة مألوفة لأي إنسان. فالأمر بسيط - لكن الماء يتميز بالغرابة في هذا

الجانب، فمعظم المواد تصبح أكثر كثافة وأكثر تراصًّا عندما تتجمد. إلا أنه من حسن الحظ الوافر في تاريخ الحياة، أن المحيطات كانت ستكون أماكن غير مضيافة إلى حدٍّ كبير لو أن الجليد غرق بدلًا من أن يطفو. وفي ذلك العالم، كانت ستتشكل طبقة سميكة من الجليد، يمنعها من الذوبان عزلها الماء غير المتجمد في الأعلى، وتضغط باتجاه الأسفل على قاع البحر، وتنمو لتملأ معظم أحواض المحيط. وفي بحار العالم البديلة تلك، التي ربما تمثل القارة القطبية الجنوبية تحت البحر، لا شك أن الحياة الميكروبية كانت ستجد طريقها للتلاؤم مع تلك البيئة المحيطة - لكن جراد البحر والمحار والدلافين لم يكن لها مكان هناك.

لقد مكّنت غرابة التركيب الكيميائي من تطوّر نسيج حياة معقّد من متعددات الخلايا - لكن اهتمامنا هنا ينصب ببساطة على أمر أكثر بساطة: وهو الخصائص المدمرة لهذا التركيب الكيميائي. فمع تجمد الماء تحت الأرض في الصدوع والفجوات والفراغات الصغيرة بين الحبيبات، فإنه يتمدد، وبقوة هائلة (قوة أكبر بكثير من القوة الكافية لتكسير قارورة حليب متواضعة). فتُجبر الشقوق الموجودة على التوسع، وتتشكل شقوق جديدة، لتمتلئ بدورها بالماء الراشح عندما يأتي وقت الذوبان. وفي أعماق الأراضي دائمة التجمد، تستمر نوبات التجمد، والذوبان الذي يليه، ألوفًا من السنين. وعندما تكون الصخور أكثر قربًا من السطح فإنها تتفاعل بصورة أسرع مع المراحل العابرة من الدفء والبرودة، ويتتابع التجمد والذوبان بصورة أسرع ووتيرة أعلى. إنها عملية نشيطة تسبق التكسر، وستحدد أنماط التكسر حجم وشكل الكتل التي

ستظهر على السطح. وعندما تزداد هذه الكتل تكسرًا، فإنها ستؤثر بذلك أيضًا على حجم الحصى التي ستخرج منها وشكلها.

لكننا لم نصل بعدُ إلى تلك المرحلة تمامًا. فسوف تشكل التضاريس أولًا الساحل الذي ستجرف الأمواج الحصاة إليه. والساحل هو الحد بين البر والبحر، وهو بذلك حدّ متحرك، سريع الزوال، خاصة أثناء التقلّبات المناخية الهائجة التي تميّز عالمًا يحده الجليد جزئيًّا. ومع نمو الجليد، يخرج الماء من البحر. وبذلك تنمو اليابسة، وتتقلص المحيطات، وتتحرّك سواحل البحر في العالم إلى الخارج. ثم عند ذوبان الجليد بعد ألوف السنين، تغمر المياه من جديد المحيطات المتوسّعة، فتعود سواحل البحر إلى التحرّك إلى الداخل مرة أخرى.

إذن، وقبل 20.000 سنة، استلقت الحصاة تحت الأرض قريبًا من السطح، تحت درع رقيق من الصخور، التي كانت مغطاة أيضًا بجليد نهر جليدي. واليوم تستلقي هذه الصخور على ساحل البحر، لكن في ذلك الوقت كان مستوى البحر منخفضًا عنه اليوم بأكثر من مئة متر، وبذلك فإن ساحل البحر كان يقع إلى الغرب. لكن ربما ليس بعيدًا بالبعد الذي تتوقعه من انخفاض مستوى البحر بهذه الدرجة، لأن الجليد كان يضغط أيضًا على مرتفعات ويلز، دافعًا إياها باتجاه الأسفل نحوًا من عشرات الأمتار.

وعلى كل حال، فبعد بضعة آلاف من السنين، كان الجليد يذوب في أنحاء العالم، وأحيانًا كان يذوب بطريقة كارثية، فارتفعت مستويات البحار. وكان ذلك تحولًا باتجاه العالم الذي نألفه اليوم، الذي نسميه موطننا. فهنا، وحول البقعة التي ستخرج منها حصاتنا

قريبًا، كان البحر يفيض على المكان، واليابسة كانت ترتفع كذلك (لكن ببطء شديد) مع ارتداد اتزانها نتيجة اختفاء ثقل الجليد. وبذلك كان موضع الساحل يتغير باستمرار، فيهاجر من مكانه مع تنافس اليابسة الصاعدة مع البحر القادم.

وقبل نحو 5000 سنة، كان مستوى البحر مستقرًّا تقريبًا عند موضعه اليوم، وبدأ الساحل الجديد في التشكّل. كما أن البشر وصلوا إليه أيضًا - أو بالأحرى عادوا، فقد كانوا هناك قبل ذلك، قبل 100.000 سنة وأكثر، في فترات دافئة سابقة من مناخ العصر الجليدي. وكان الناس يصطادون، ويبدؤون بالزراعة (وهي جديدة عليهم) - ويبحثون عن الفلزات اللمّاعة في عروق الصخور. وكانت الحصاة ما زالت في طور ما قبل الحصاة، داخل طبقتها الصخرية على المنحدرات، التي تضربها أمواج الشاطئ الذي غير مكانه حديثًا. لكن مع اصطدام الأمواج بالصخور أعمق فأعمق، لم تمض إلا بضعة آلاف من السنين لتتخذ الصخور وضعها الفريد المستقل، وشكلها على هيئة حصًى.

## الخروج إلى النور

لقد كانت أعمال الحفريات الأخيرة التي جرت للحصاة - ربما قبل بضعة قرون وحسب - فعالة بشدة. فالأمواج التي تتلاطم على الصخور في الجرف المتشكل حديثًا أتت بالهواء إلى داخل الشقوق والفجوات في الصخر، ذلك الصخر الذي أنهكه نموّ الجليد الذي اختفى منذ زمن بعيد وذوبانه. وهذه الشقوق والفجوات بدورها

تكشف الكثير من الأحداث البعيدة، بداية من تشكُّل الطبقات الصخرية فوق قاع البحر السيلوري، ومرورًا بتغضنها وتغير شكل نسيجها لتشكل انفصامًا تكتونيًّا (تنقسم الصخور على طوله اليوم إلى ألواح صخرية)، وانتهاء بالتشقق الذي جرى مع صعود الجبال. إنه هواء مضغوط، ترافقه أطنان من المياه التي تحركها العواصف، يعمل كأنه الإزميل. وبتطبيقه آلاف المرات مع العواصف الكثيرة (وتعينه وتؤازره جلاميد تقذفها الأمواج كذلك على الجرف)، فإنه في نهاية المطاف يفكّك ألواح الإردواز، وفي النهاية يقتلعها - وأحيانًا يحدث ذلك بصورة مثيرة عندما تنهار أقسام من الجرف.

وأحد هذه الألواح والد حصاتنا، تحرر بعد ما يربو قليلًا على 420 مليون سنة، ليعود إلى السطح. وربما كان بسماكة بضعة سنتيمترات وحسب (مع أنه يمكن أن يصل عرضه إلى المتر) وسطوحه الناعمة محددة بالانفصام التكتوني المفروض على الطبقات الصخرية منذ نحو 396 مليون سنة، والواقعِ عند أسفل الجرف. ويحتوي داخله حصاتنا، وبالطبع حَصَيات أخرى أيضًا. ولتتحرر هذه الحصى - أو بدقة أكبر لتأخذ شكلها - ينبغي أولًا تحطيم اللوح الصخري.

وتقوم أمواج العواصف بما عليها من فروض في اقتلاع اللوح الصخري وقذفه على الجرف حتى يتكسر. فينقسم من اللوح الصخري ما أصبح تقريبًا حصاة، شظيةً ذات حواف حادة. ولتلك الشظية سمات قصتها الخاصة بها، التي نحن نرويها حتى الآن، من الأشرطة الشاحبة والداكنة، إلى الأحافير الكبيرة والصغيرة (أو من وجهة نظر الإنسان: الصغيرة والمجهرية)، إلى معرض

المعادن وأنماط النظائر والتراكيب الكيميائية المتمازجة - لكنها لا تزال بحاجة إلى صقل.

وبإمكان الأمواج أن تقوم بهذه المهمة أيضًا، فتعمد الآن إلى جرف الشظايا سهلة الانتقال على طول رصيف الشاطئ، وتقدِّم الماء وترجعه لتحكه بصورة مستمرة بين ما لا يحصى من الحصى المتماثلة على طول الساحل. وعندما تغادر الأمواج، مدفوعة بالتيار الساحلي، تحتُّ آلاف التصادمات الحصى، فتنعِّم حوافها الحادة، وتنشئ لها حدًّا مدوَّرًا على وشك الظهور - لكن ربما ليس بعدُ.

ولدينا هنا أربعة مقاييس زمنية أخرى تضاف إلى محصلة ما لدى الحصاة. وقبل أن نضيف هذه الساعات المتأخرة، لنراجع تلك التي انطبعت مسبقًا في نسيج الحصاة. فهناك نمط نظائر النيوديميوم، الذي يخبرنا متى تحررت مكونات الحصاة من الوشاح الأرضي، ومتى تشكلت أفالونيا: هذا هو المقياس الزمني الأول. ثم كانت هناك حبيبات الزركون، المتبلورة في حجرات الصهارة وفي جذور الجبال العميقة ربما قبل مليار سنة وأكثر، وهذا هو الثاني. ثم بعد ذلك ذرات الرينيوم والأسميوم المتناثرة التي كانت الشاهد ثقيل الظل على سقوط رقائق الطين في قاع البحر، وهذا هو الثالث. ثم تبلور المونازيت، وإعادة خلط الروبيديوم، في أعماق الأرض، ربما مع تشكل النفط وتحول المعادن الغضارية، وهذان هما الرابع والخامس. وبعد ذلك هناك اضمحلال البوتاسيوم المشع في بلورات الميكا النامية حول الأحافير، التي كانت قد انضغطت نتيجة الضغط الناشئ عن صنع الجبال؛ فتلك ستة.

هذه حصيلةٌ متحفّظة، إذ باختصار قصة الحصاة ورواياتها في كتاب صغير لا في مجلدات ضخمة، تفوتنا بضعة مقاييس زمنية (فعلى سبيل المثال، هناك طرق لتحديد عمر العروق المعدنية) - بالإضافة إلى الطرق الموجودة في الحصاة التي لم نكتشفها بعد - وسنكتشف بعضها حتمًا. إذن، وهكذا بإضافة أربعة مقاييس جديدة يصبح المجموع عشرة مقاييس زمنية على الأقل (فنصل إلى رقم بخانتين).

يحتاج الجيولوجيون إلى هذه المقاييس الزمنية، فهم يتعاملون مع مقادير ضخمة من الزمن. وإذا كان هناك بيّنة على الأشياء التي حدثت دون معرفة زمن حدوثها، أو ترتيب حدوثها، فتلك وصفة للارتباك المطبِق - فذلك نوع من حساء يخلط الأحداث، مخفوق جيدًا وكله غموض. لذلك فهم يصدعون رؤوسهم في البحث عن أكبر عدد من الطرق الممكنة لمعرفة متى حدث ما حدث. وبعد ذهاب ذلك الصداع، يتبين أنه كان مثمرًا للغاية، تمامًا. وبما أن الجيولوجيا تتعامل مع يوم أمس المباشر كما تتعامل مع الماضي البعيد، فهناك أسئلة أخرى يمكن طرحها. منها على سبيل المثال: كم مضى من الزمن على الحصاة وهي حصاة؟

لنسمح للحصاة بالظهور في عاصفة عظيمة، عاصفة من ألف سنة. تقذف بها عاليًا على ضفة من الحصباء خلف الشاطئ - عاليًا جدًّا، وبعيدًا جدًّا، فلا تستطيع العواصف العادية إعادتها مع الماء المتراجع، إلى تيارات الحصى النشيطة، المتحرّكة باستمرار على الشاطئ الذي تغسله الأمواج. وتستلقي ساكنةً على ذروة قمة تلك الضفة الحصباء البعيدة، مكشوفةً للعناصر الكيميائية. وتبدأ

هناك ثلاث ساعات بالعمل، أما الرابعة، فستبدأ بالعمل قريبًا؛ سنة 1945، إذا توخينا الدقة.

الآن تبدأ إحدى الساعات في التشكل عند السطح العلوي للحصاة، والأخرى عند سطحها السفلي، أما الثالثة ففي بقعة ما - أو ربما بقعتين - على سطحها. أما وسيلة بناء الساعة الرابعة، فهي تتطوّر في عقول البشر. ولنأخذ الساعة التي في الأعلى أولًا، فأهميتها في أنها تلفت انتباهنا أولًا.

هناك قصف يأتينا من السماء؛ فالإشعاعات الكونية تزداد سرعة باستمرار عبر الفضاء، وتصطدم بأي شيء يقع في طريقها. إنها تصطدم بك وبي، كما تصطدم بسطح الحصاة المكشوف، فتُحدِث مع الزمن ضررًا كبيرًا به. فعندما تصطدم الإشعاعات الكونية بذرات السليكون، تتكسر الذرات، ويكوِّن جزء من حطام الذرات شكلًا من الألمنيوم عالي الإشعاع وقصير العمر، بينما يتحوّل الأكسجين، الذي يتحطّم أيضًا، إلى بيريليوم مشع. فإذا طال القصف مدةً كافية (بضعة آلاف من السنين) تتراكم هذه المنتَجات المشعّة بما يكفي لأن تقاس بآلات عدِّ الذرات الرائعة اليوم. وهكذا يكون إحصاء عدد الذرات الجديدة تقديرًا للزمن الذي مضى على سطح الحصاة المكشوف للسماء. إنه تأريخ بالإشعاعات الكونية. وهذه تقنية حديثة العهد (لم يمضِ عليها أكثر من عقدين)، لكن في هذا الوقت القصير أصبحت وسيلة معيارية لتأريخ تضاريس الأرض والسطوح الصخرية.

وعلى الجانب السفلي من الحصاة، هناك بعض الذرّات يصيبها الضرر بصمت حيث هي. فبينما كانت الحصاة تنجرف على طول

الشاطئ، تقلبها الأمواج مرة بعد مرة، لَفحتها الشمس لأول مرة بعد مئات ملايين السنين. إلا أن أشعة الشمس لم تدفئ وحسب سطح الحصاة، بل أصلحت أيضًا الضرر الإشعاعي الذي أصاب الشبيكات الجزيئية لبعض المعادن فيها، خاصة الكوارتز. وذلك الضرر المتراكم سبَّبه الإشعاع المتولّد من داخل الحصاة، بنشاطها الإشعاعي الطبيعي. فإذا حجبنا الشمس عن سطح الحصاة، فإن آلية التعافي الذاتي تلك سوف تتوقف. فشبيكات البلورات، على مر مئات وآلاف السنين، أصابتها عيوب وتشوهات صغيرة. فإذا وجهنا عليها في المختبر ضوءًا متحكمًا به، فإن الشبيكات ستعود إلى انتظامها، مصدرةً ومضة صغيرة جدًّا من الإشعاع عندئذ. وحجم هذه الومضة، إذا قيس بعناية، هو مقياس للمدة الزمنية التي عاشت فيها البلورات في العتمة. ويستخدم العلماء هذه الاستضاءة المحفزة بصريًّا (optically stimulated luminescence)، كما تدعى، في دراسة العصور الجليدية، وصارت تعرف بمختصرها OSL. كما أنها مفيدة جدًّا في إرشادنا إلى المدة التي قضتها الرسوبيات مدفونة في العتمة.

ثم هناك طرق تأريخ سطح الحصاة الأكثر إيكولوجيةً. ففوق السطح المكشوف من الحصاة، في أعلى ضفة الحصباء، هناك أبواغ تنجرف. وبعضها سيحط على سطح الحصاة. وستبدأ حياة تلك الأبواغ في بناء مستعمراتها في الحصاة، فتتمسك متشبثةً بذلك السطح الناعم للحصاة. فالأشنيات - وهي اندماج (وبدقة أكبر: تكافل) غريب بين الطحالب والفطور - بدأت في النمو. وتنمو الأشنيات بصورة بالغة البطء، ربما بمقدار مليمتر في السنة، وبمعدل ثابت، وبذلك فإن حجم رقعة الأشنيات يعطينا دلالة على عمر سطح الصخر المكشوف. وهذه التقنية لها أيضًا اسم يخصها:

إنها ساعة الأشنيات. وطبعًا هناك جدل في ذلك. فربما لا تبدأ الأشنيات من فورها في النمو على السطح، كما أن العوامل البيئية يمكن أن تؤثر في نمو الأشنيات، كالتلوث على سبيل المثال. لكن على كل حال فمن الممتع أن يكون لديك طريقة للتأريخ يمكنك الاستفادة منها بوساطة عدسة مكبرة ومسطرة، بدلًا من تجهيزات دقيقة جدًّا تكلف مئات آلاف الجنيهات الإسترلينية.

ثم هناك ساعة أخرى، ساعة من صنع أيدينا نحن. وقد بدأت بالعمل في الساعة الخامسة وتسع وعشرين دقيقة وخمس وأربعين ثانية صباحًا (بالتوقيت المحلي) في ألاماغوردو، بولاية نيومكسيكو في السادس عشر من تموز/يوليو 1945، عندما جرى اختبار أول قنبلة ذرية. فتلك القنبلة، وما تلاها من قنبلتي هيروشيما وناغازاكي، اللتين قتلتا نحو 220.000 إنسان بمجموعهما، وما تلا ذلك من اختبارات للأسلحة الذرية فوق الأرض (قبل فرض حظرها) - والأحدث في هذا السياق حادثة مفاعل تشرنوبل النووي - أنتج كل ذلك نويدات مشعّة اصطناعية جديدة انتشرت حول الأرض. وهذه النويدات المشعة، ومنها البلوتونيوم ونظيرٌ للسيزيوم مديدُ العمر، يمكن كشفها عمليًّا في كل شيء كان موجودًا على السطح منذ ذلك الوقت. فلا ريب أن بعض هذه النويدات المشعة الجديدة سيكون على سطح الحصاة - فالأشنيات التواقة إلى الغذاء فعالة جدًّا في التقاطها من الهواء ومن قطرات المطر.

فيا له من تنوع في الوقت، وفي الأحداث! والآن، وأخيرًا، وصلنا إلى لقائنا القصير بالحصاة، قبل أن نرسلها في طريقها نحو المستقبل. فعاصفة هائلة أخرى، ستأخذها لتعيدها إلى الشاطئ.

وستنجرف جيئة وذهابًا مرة أخرى، وسرعان ما تفقد غلافها من الأشنيات (وبذلك تفقد ساعتها المميّزة تلك)، كما أن الساعة المحفزة بصريًّا ستعود إلى نقطة الصفر كذلك. لكن ساعة الإشعاعات الكونية ستستمر في العمل، فتواصل الإشعاعات الاصطدام بها آتيةً من الفضاء الخارجي- كذلك لا مفر من ساعة النويدات المشعة التي صنعها الإنسان، لا مفر منها في أي مكان على سطح الأرض.

والحصاة اليوم، ببريقها، وقالبها، تلفت نظر الإنسان إليها. فيمكن للمرء أن يلتقطها من الأرض، ويجلس برهةً متأملًا فيها. سيكون ذلك بعد ظهر يوم لطيف. وسيغويه ذلك بالجلوس على الشاطئ، والاستغراق في تاريخها بعض الشيء، بينما الشمس لا تزال عالية في السماء، ويرتاح المرء هناك. ويَمضي الوقت.

ويعتم المكان. لقد حان وقت الرجوع إلى المنزل. فتُطرح الحصاة جانبًا؛ فهناك الكثير غيرها على كل حال. وما زال هناك قدَر بانتظارها. بل أقدار كثيرة في الواقع.



# آفاق المستقبل

الانفصال

حصاتنا ملقاة على الشاطئ، مرةً أخرى، بلا علامة تدل على اتصالها القصير بالإحساس البشري. تقريبًا بلا علامة. فبصمات الأصابع التي تحملها بخفة ستذهب عنها مع موجة المد القادمة. وما زال لديها مستقبل طويل، لكن ربما لن تكون على هيئة حصاة - مع أن بقاءها على هيئة حصاة يعتمد كثيرًا على الفعل البشري. لكن ليس بصورة مباشرة، فالفعل البشري المباشر - كأن يأخذها حفار مثلًا فيحولها إلى بيتون يجعل منه متنزهًا على شاطئ البحر، أو يجمعها سائح عابر مثلًا فيتخذ منها هدية وتذكارًا. وأي من هذين المصيرين لن يشكل إلا انحرافًا لفترة قصيرة عن مستقبلها البعيد (فالمتنزه الشاطئي على كل حال ليس إلا جرفًا ستهاجمه العناصر الكيميائية، أما الهدايا الشاطئية فسرعان ما تلقى في سلة المهملات). فالراجح أن الاضطراب الكبير في مصيرها سيعتمد على تأثيرات بشرية أكبر من ذلك، لكن أكثرها سيجري في وقت آخر. وسنفترض أولًا أن ذلك سيعتمد على العوامل الطبيعية.

فالحصاة على الشاطئ، في بيئتها الطبيعية، تتغير باستمرار. فقبل زمن ليس بالبعيد، كانت جزءًا من لوح من الإردواز في جرف، ثم أصبحت لبرهة وجيزة قطعة صخرية حادة الزوايا، ثم صقلتها

الأمواج والمياه. وما زالت تصقلها، وتحتُّها، فتجعلها أصغر فأصغر. حتى إن اتصالها بأيدي البشر ربما أزاح عنها حبيبة أو اثنتين. فالحصاة تظهر بمظهر الديمومة، لكنها ليست دائمة باقية. فكم سيمضي من الوقت حتى تتآكل الحصاة؟

يمكن أن يحدث ذلك بسرعة مدهشة. حتى في حركة مد واحدة، تجرفها جيئة وذهابًا مع كل موجة مقبلة، فتصبح الحصاة أكثر خفة بصورة يمكن الكشف عنها - بمقدار يقل عن عُشْر الواحد بالمئة، ولا يسع أحدًا إنكار هذا الأمر، فذلك الفرق في الوزن يمكن قياسه بسهولة باستخدام أجهزة القياس الإلكترونية الحديثة. وعلى مدى فصل من الفصول، وعلى جزء مكشوف من الشاطئ، يمكن للحصاة أن تفقد ما بين ثلث إلى نصف كتلتها. وتتغير نسبة ذلك؛ ففي يوم عاصف يمكن لخبط الحصى بعضها بعضًا أن يسبب علامات طرق مميزة على سطوحها، أما في يوم هادئ فينخفض معدل الاحتكاك بصورة واضحة.

لكن بمرور الليل والنهار تتفتت الحصاة. فما الذي يمكن أن يحفظها؟ حسنًا، لعل بإمكاننا حفظها، بصورة مؤقتة، على الرغم من أن ذلك سيكلفنا الكثير. ليس الكثير عندما نأخذها من الشاطئ ونضعها في خزانة حجرة الرسم، أو في متحف. لكن الطريقة الجيولوجية المثبتة لإيقاف عمليات الحت على الشاطئ هي بإغراقه. ويبدو أن الراجح، كما يبدو من مجريات الأمور اليوم، أن أحد منتجات حضارتنا سيكون ارتفاعًا جيولوجيًّا مفاجئًا في مستوى البحر، بنحو بضعة أمتار على مدى بضعة قرون تالية.

وسيذهب شاطئ الحصباء والجرف تحت منطقة الأمواج المدمرة، وسيغطيهما الطين والطمي. فإذا ظلت هناك بقايا من حصاتنا في مكان ما على ذلك الشاطئ، فلعلها تنجو آلافًا أخرى من السنين، فيما بقي من شكل الحصاة، لأنه سيمضي وقت طويل قبل أن ينحسر الماء. لكنه في نهاية المطاف سينحسر، وربما يكون ذلك بعد 100000 سنة من الآن. وستخرج الحصاة بعدها، لتعود من جديد إلى مطحنة الحتّ والتآكل.

وسواءٌ الآن، أو في ذلك المستقبل ما بعد حضارتنا الصناعية، فإن الحصاة ستتفكك. ومكوناتها التي بقيت ملتحمةً معًا فترة طويلة جدًّا، سوف تتفكك صحبتها، وستذهب في طرق شتى. فبعضها سيستمر، بعد مدة زمنية قصيرة جدًّا، بالدوران حول الأرض بكل معنى الكلمة، وذلك بوساطة الهواء والبحر. وبعض المكونات سيستقر فترة أطول في مكانه. لكن، وبمرور الوقت، حتى هذه المكونات ستنتشر باتجاه الخارج، مع تناثر الأجزاء التي كانت حصاة على مسافات بعيدة وواسعة.

ويمكننا توقع مسارات رحلتها إلى حدٍّ ما، مبدئيًّا على الأقل. فستنطلق حبيبات الكوارتز في الحصاة إلى الرمل والطمي على الشاطئ. لكنها لن تكون تمامًا كما كانت، عندما وصلت في مستهل أمرها إلى قاع البحر السيلوري. فقد تغير شكلها نتيجة اتصالها الطويل بالسوائل تحت الأرض، مع تراص الطبقات الصخرية في أول تراصها، ثم تغضنت مع صنع جبال ويلز. وانحل جزء من الحبيبات الأصلية، وجزء آخر كساه ملاط من سليكا إضافية، وجزء غيره اندمج بعضه ببعض بتأثير الضغط. وبذلك فإن ما سينتج هو عناقيد غير منتظمة من الحبيبات السابقة،

أو أجزاء منها، وهذه العناقيد ستنضم إلى الحبيبات الأخرى على الشاطئ، وستندفع على طول الشاطئ مع التيار الساحلي، أو ستنجرف إلى البحر، إلى المياه العميقة بفعل العواصف وأمواج المد، منفصلة عن بعضها بعضًا أكثر فأكثر، بابتعاد الحبيبات الخفيفة إلى مسافات بعيدة وبصورة سريعة. أما الحبيبات الثقيلة، فتتدحرج معًا بطيئًا بطيئًا.

إلا أن بعض الحبيبات ستكون إلى حدٍّ ما بالشكل والهيئة التي كانت عليها عندما وصلت إلى قاع البحر السيلوري، قبل مئات ملايين السنين. وهي حبيبات الزركون غير القابلة للتلف تقريبًا، وعشيرتها الأقربون، مثل الروتيل والتورمالين. فهي معادن قاسية من الناحية الفيزيائية، ومقاوِمة من الناحية الكيميائية، والضغوطُ الناجمة عن صنع الجبال وتأثيراتُ الحتّ الناجمة عن السوائل تحت الأرض سيكون لها تأثير ضعيف عليها. ومع تحرر الحبيبات من الحصاة من جديد بالتحات، فإنها مبدئيًّا ربما تغطى بنوع ما من ملاط السليكا مثلًا، أو تلتصق بها حبيبة من الكوارتز أو قشيرة من الميكا. لكن هذه سرعان ما تزول عنها بالاحتكاك، فالحبيبات تسافر وسط حبيبات من الرمل، تتدافع وتتصادم بها. وبالنسبة لها فقد تكون هذه هي رحلتها الثانية أو الثالثة أو الرابعة، في مليار أو مليارين من السنين؛ يعاد تدويرها من مجموعة من الطبقات الصخرية إلى مجموعة أخرى.

وتكون الحبيبات ذات وزن ثقيل. وكثافتها تدل على أنها ستصفى من حبيبات الكوارتز، ويمكن أن تذرى، وتتركز في أجزاء من قاع البحر حيث تكون التيارات قوية، أو تتراكم في الحفر والمنخفضات (بخلاف ما تفعله حبيبات الذهب مثلًا، في رواسب

الطمي في النهرين الكبيرين يوكون وكلونودايك [في كندا]، حيث يدرس المنقبون عن الذهب تأثير سرعة التيار والقص والسحب (ليجدوا أفضل أماكنها اليوم، ليحظوا بما يرجونه).

وستتفتت قشيرات الميكا التي تكوِّن جملة الصخور، على طول مستويات الانفصام المعدنية التامة التي كأنها الكتاب. وبما أنها خفيفة ومرهفة، فإنها تنجرف بعيدًا (أو تطير) بسهولة. إنها تعود من جديد لتكون طينًا، وتنفصل بسرعة عن حبيبات الرمل، لتنضم إلى جسيمات طينية أخرى تسافر على طول ذلك الشاطئ. ويمكن لهذه الجسيمات الآن أن تسافر مسافات طويلة عالقةً في الماء، لينتهي بها المطاف على مسطح طيني أو سبخة ملحية عند مصب نهر متوارٍ، أو يحملها الماء إلى قاع البحر البعيد والعميق. وعندما تستقر، يمكن أن تلتصق على هيئة طبقة متماسكة، وربما تتآكل من جديد فيما بعد، فتنقسم إلى كتل، وتتجزأ، فيحملها الماء إلى مسافات أبعد وأبعد.

لقد عادت هذه الجسيمات الآن بقوة إلى أرض الحياة. ففي البحار الضحلة، لن يكون اتصالها بالعالم الحي مشابهًا لاتصالها بعالم الساحل السيلوري الضحل. فسوف تبتلعها، جملةً، الديدان التي تأكل الطين، وتصفيها أجهزة مرهفة تشبه المراوح في الكائنات التي تتغذى بالتصفية، وتدفعها جانبًا القشريات الزاحفة هنا وهناك، وفي كل مكان سوف تغطيها الميكروبات الموجودة في كل مكان. إلا أن الجسيمات التي تطير إلى اليابسة ستجد أن معالم الأرض قد تحولت. فهي ستحط في أتربة حية سميكة غنية بالدبال، تخترقها في كل مكان تقريبًا جذور النباتات - باختلاف

كبير عما كان في العصر السيلوري من معالم أرضية قاحلة إلى حدٍّ بعيد.

وسترحب الميكروبات، بعض الترحيب، بوصول بقايا المواد العضوية التي ما زالت في ذلك الإردواز، محاولةً أن تجعل منها وليمتها عندما تتفكك عن الحصاة؛ مثل خصل الكربون. وغالبًا ما يخفق الأمر. فالكثير من الكربون أقرب إلى الغرافيت، فهو بدرجة كبيرة غير قابل للهضم، حتى بالنسبة للميكروبات. وببساطة، يحمل الماء الخصل الغرافيتية السوداء بعيدًا مع رقائق الطين، لتشكل جزءًا من طبقة رسوبيات جديدة تصبح في النهاية طبقة صخرية جديدة، تعيد دفن ذلك الكربون قبل أن تلتحق بدورة حياة الكائنات.

إلا أن بعض ذلك الكربون سيجري هضمه، واستهلاكه، ليلحق بدورة الحياة الكبيرة؛ صاعدًا في سلسلة الغذاء من الميكروبات إلى الأوليات، إلى الديدان إلى الأسماك - وربما إلى البشر. وبدورانها في مراحل الاستقلاب، والبراز، وإعادة الامتصاص، فإنها تسافر في الوقت نفسه، تحملها مياه المحيط وتحملها أجسام الحيوانات والنباتات المتنقلة والمهاجرة - من الطحالب العالقة المتنقلة. وفي جريانها في مراحل التنفس تصبح غازًا، هو ثاني أكسيد الكربون، ينحل أولًا في مياه المحيطات، ثم ينطلق إلى الجو، حيث يسافر مع الريح، ويلف العالم، وسوف ينحل من جديد في مياه الأمطار، فيعود إلى اليابسة أو إلى البحر، ليحتّ التكوينات الصخرية وقشور العوالق، أو تلتقطه النباتات على اليابسة أو في البحر، وهي بدورها تؤكل، قبل أن تسقط جثث الحيوانات العاشبة واللاحمة على حدٍّ سواء في قاع البحر، ليجري

طمرها في طبقة صخرية تتشكل حديثًا، مقدمةً لدفنها في أعماق الأرض مرة أخرى.

وفي هذه المرحلة سرعان ما تتبع كل ذرة تقريبًا من الكربون مسارها الخاص بها، المنفصل عن مسارات من كانوا جيرانها الأقربين تحت الأرض لردح طويل من الزمن، فهذا المكون من الحصاة ينتثر بصورة رقيقة عبر العالم. وكلٌّ منها له قدره الخاص به، وكل واحدة من الآن ستسعى في طريقها، ومن غير المرجح أبدًا أن تعود إلى الاجتماع بجيرانها السابقين. وبعضها يمكن أن يحمل حتى إلى الفضاء، بإقدامه على الدخول في الطبقة العليا من الغلاف الجوي ليرحل عن الأرض بوساطة الرياح الشمسية، وبعضها الآخر سيحمل إلى أعماق الأرض، ليعلَق عند صفيحة بحرية هابطة ويحمل إلى الأسفل نحو الوشاح - ولعله هناك يمتزج ببلورة ألماس تنمو. إنه الشتات الكبير في كل حدب وصوب.

ومكونات الحصاة الأخرى ستسافر مسافات طويلة أيضًا. فالبيريت الذي يملأ البيوت المنتظمة للغرابتوليتات، ويشكل الفرامبويدات الكثيرة المتناثرة داخل صخر الحصاة، نجا من ضغوط صُنْع الجبال، لكنه لا يستطيع أن يتحمل طويلًا نسائم البحر اللطيفة، ولا الأمطار المتفرقة على شاطئ ويلز، ولا الانغمار في مياه البحر. فهذا المعدن الحديدي الذهبي سيفقد بريقه بسرعة، فيتأكسد الكبريتيد إلى كبريتات، أما الحديد فيصبح هيدروكسيدًا. فلن تعود الغرابتوليتات مملوءة بالذهب الزائف اللامع بل سيملؤها صدأ برتقالي هش، وغالبًا ما يسقط هذا أيضًا، تاركًا وراءه حيزًا فارغًا، وهي الحالة نفسها عمليًّا عندما تستلقي

مستعمرة ميتة على قاع البحر السيلوري. وقد ترتبط الكبريتات المنطلقة من البيريت بالكالسيوم، لتشكل بلورات شبه شفافة صغيرة جدًّا من السيلانيت، وهو شكل من أشكال الجص، أو قد تنضم ببساطة إلى الخزان الضخم من الكبريتات المنحلة في البحر.

وعندما تنحل في مياه البحر، يمكن أن تبقى شاردة الكبريتات ببساطة هناك آلاف السنين، مسافرة مع تيارات المحيط. وقد يؤول مصيرها في النهاية إلى الانجراف بقرب قاع البحر والتفرق في سطح طبقة الرسوبيات، ومن هناك تنتقل إلى المنطقة المُعوْزَة للأكسجين، وتكون مصدرًا للطاقة لميكروب تحويل الكبريتات، لتتحول إلى كبريتيد، ومرة أخرى إلى البيريت. أو يمكن أن تنجرف الكبريتات إلى بركة شاطئية ضحلة في ساحل حار قاحل، وتتبلور على هيئة جص عندما يتبخر الماء. أو ربما تمتصها الطحالب البحرية وتتحرر بصورة رذاذ من ثنائي ميثيل الكبريتات إلى الجو فوقها، وبهذه الصورة ستكون «بذرةً» لقطيرات صغيرة من الماء، فتصبح سببًا في تشكل الغيوم ونزول المطر. إنه تفرق كبير آخر في السُّبُل التي انتهت إليها ذرات الكبريت؛ تلك الذرات التي تقاسمت الموطن نفسه تحت الأرض أمدًا مديدًا جدًّا (مع أنه موطن يعود أصلًا إلى الغرابتوليتات).

أما الذرات الأخرى في الحصاة، فافتراقها أكثر صعوبة. فبلورات المونازيت التي نمت بينما كان النفط يطبخ من هذه الصخور -وربما نمت بسبب ذلك- ليست بقساوة الزركونات، لأسباب ليس أقلها حمولتها من الشوائب الغضارية، إلا أنها شديدة المقاوِمة. وهي عادة ما تتحات من الإردواز على صورة حبيبات بيضوية

الشكل، حجمها بحجم رأس الدبوس تقريبًا. وكحال بلورات الزركون، تكون هذه الذرات كثيفة، وبذلك يزداد تركيزها حيث تذرو الرياح حبيبات الرسوبيات العادية الأخف وزنًا. وقد وجدت هذه البلورات المتحاتة في أماكن مختلفة، في مسيلات ويلز وأنهارها، وجدت بوفرة على هيئة «رمال المونازيت». لكن ما هو المدى الذي ستسافر إليه؟ هذا سؤال ليس له إجابة بعد. فظاهرتها المتميزة لم تكتشف إلا حديثًا. فهل هي انتقلت، مثل الزركونات، إلى طبقات صخرية أحدث عمرًا؟ لم يبحث أحد في ذلك بعد.

إن الجُسيمات التي سافرت ذات مرة مسافات شاسعة، في الفضاء وعلى الأرض، لتلتقي في النهاية في الحصاة، تنفصل الآن. وستنتقل منفصلة عن بعضها بعضًا أكثر فأكثر. ومعظمها سيبقى على الأرض، بدلًا من السفر إلى الخارج نحو الفضاء (ربما كما تفعل بعض ذرات الكربون الشاردة القليلة). وستندمج كلها تقريبًا - عاجلًا أو آجلًا - في طبقات صخرية جديدة ستكون مدفونة بدورها، ومتراصة، وتشتد قساوة، وتزداد من المعادن، وتتغضن عند الأحزمة الجبلية، ثم ترتفع وتتآكل. وبعد ذلك يظهر عدد لا يحصى من الحصى، في أماكن مختلفة وفي أزمنة مختلفة، وكلٌّ منها تحمل بداخلها جزءًا صغيرًا من حصاتنا الأصلية. والكثير منها سيكون مركَّبًا كذلك من الرمل أو الطمي أو الطين، إلا أن جسيمات حصاتنا ستظهر أيضًا في الأحجار الكلسية، والرواسب الملحية، وقُرَارات جديدة من النفط والغاز، وفي الصهارات أيضًا، لتشكل مكونًا دون مجهري من بعض البازلت أو الغرانيت. وستحمل الطبقات الصخرية الجديدة داخلها بقايا حيوانات ونباتات متباينة جدًّا، مع زيادة الكائنات الحية التي تحملها الأرض،

وتطورها بحسب ما يقوله داروين، بأشكال لا تحصى بارعة الجمال بديعة الروعة.

## ختام قصتنا

كم ستدوم هذه الدورات؟ إذا لم تحدث كوارث مفاجئة، كوارث طبيعية أو كوارث من صنع الإنسان، فإن هذه الدورات ستدوم مليارًا آخر من السنين، وربما مليارين من السنين. وذلك كافٍ لصنع بضعة أجيال أخرى من حصاتنا. وبعد ذلك، عندما تكبر الشمس وتُحتضَر، وتبدأ نيرانها النووية الحرارية في الاحتراق بسطوع أكبر، ستفقد الأرض محيطاتها، التي ستتحول إلى بخار وتغادر إلى الفضاء، وستفقد الأرض غلافها الجوي الغني بالأكسجين، وتفنى الحياة فيها، وآخر ما يفنى فيها الميكروبات. إن الحياة، في أي حدث يطرأ، قد تمر بظروف عصيبة جدًّا لبعض الوقت. وستتجمّد النواة الفلزية للأرض، أو ستتجمد غالبيتها، وبذلك لن يكون في الأرض حقل مغناطيسي، أي لن يكون لها ما يحميها من الرياح الشمسية والإشعاعات الكونية.

وستكون حصاتنا متناثرة بعيدًا في أصقاع الأرض، داخل طبقات صخرية ستصبح غالبيتها بقايا أحفورية من الكوكب الذي كان لطيفًا فيما مضى. حينذاك ستكون أرضًا غريبة، بعد ما مر بها من العمر الطويل. وعلى الأرجح سيظل يحيط بها نوع ما من الغلاف الغازي، وبذلك سيكون فيها رياح من نوع ما، لكن لن تكون هناك أمطار، ولا مسيلات مائية، ولا أنهار، ولا بحيرات.

والرسوبيات المزعزعة ستتخطفها الرياح إلى الكثبان، كما يحدث في المريخ اليوم. وستنهار الجروف والقرانيس بانهيارات صخرية بين وقت وآخر، فالجاذبية لن تكون قوةً أقل منها اليوم. وستستمر السلاسل الجبلية في التشكل، لبرهة من الزمن، إلى أن يتوقف المحرك الضخم للصفائح التكتونية عن العمل. إنه محرك سيضعف على كل حال، عندما تذوي الحرارة المشعة للأرض التي تدفعه. وسيؤدي زوال المادة المزلقة الكوكبية العظيمة، وهي الماء، سيؤدي في آخر المطاف إلى إيقافه عمليًّا، بالمعنى نفسه لإزالة الوقود من محرك السيارة، في جعل اندساس صفائح المحيطات ذا احتكاك عظيم إذا حصل.

ثم لا بد للحرارة المتبقية في الأرض أن تخرج، فتستمر العمليات البركانية لبعض الوقت أيضًا. إن كوكبنا، الذي تزداد إضاءته خفوتًا نتيجة تخامد النيران الشمسية، سيدخل في ظلام أبدي، لا تضيئه إلا النجوم البعيدة في هذه المجرة. وفي هذا المشهد، وعلى كوكبنا في المستقبل البعيد، ستنتهي دورة حياة الحصاة، وستأخذ في رقاد أبدي. فبعد أن ينهي نظام شمسي دورته، فإن ما يتبقى هو الرماد.

لكن من اللطيف دائمًا أن يكون هناك مخرج. فقد تأتي الولادة الجديدة، إذا انتقلت البقايا الميتة على الأرض، مع عطارد والزهرة، إلى الشمس، مع نموها الهائل في طورها العملاق الأحمر الأخير، ربما بعد نحو خمسة مليارات سنة من الآن. وستكون حينذاك على حافة الفناء أو النجاة. فمدار الأرض سيدور باتجاه الخارج مع فقدان الشمس كتلتها، إلا أنه قد لا يتحرك بسرعة كافية. فقد تعلق الأرض عند طرف الحافة المحيطة

بالشمس المنتفخة، مسحوبةً باتجاه الداخل، وتهبط في مدار حلزوني وتتبخر، فالطبقات الخارجية للشمس المتخامدة تنتفخ إلى الخارج، أما نواتها فتنكمش إلى قزم أبيض لن يكون في هذه النهاية أكبر بكثير من الأرض نفسها.

ولن يكون هناك مستعر أعظم يميز اختفاءها، ولا حتى مستعر عادي يولد سديمًا عظيمًا كأنه الخيال، مثل سديم عين القط، وسديم الحبّار السيامي، وسديم العنكبوت الأحمر؛ هذه السدم التي تلتقط اليوم بعدسة النظر البعيد لمقراب هابل. فشمسنا ببساطة أصغر بكثير من أن تصدر عنها هذه الإثارة. إلا أنه سيكون هناك نوع من شتات الفلزات الخارجة من ثورة شمسنا الأخيرة، حينما يندفع بعض بخار كوكبنا، الذي كان يومًا جميلًا، يندفع إلى الفضاء بين النجوم.

ومن هناك، سيتحرك عبر المجرة ذلك الغبار النجمي، وبضعٌ من ذرات حصاتنا داخله. وفي نهاية المطاف قد ينتظم في ولادة نظام نجمي جديد، له كواكب خاصة به. وذلك أمر بعيد الاحتمال - لكنه ليس مستحيلًا. فهكذا بدأت قصتنا على كل حال، على هذا الكوكب، ومع هذه الحصاة.

وهكذا ربما تبدأ القصة مرةً أخرى.

# مطالعات إضافية

هناك بضعة كتب تدرس هذا الموضوع الجيولوجي. ولدي كتاب قديم مميّز منها، وهو في الواقع رائع. فقد كتب جيديون مانتل، وهو طبيب ريفي وأول عالم ديناصورات في العصر الحديث، كتابه «أفكارٌ على حصاة» (*Thoughts on a Pebble*, Gideon Mantell) سنة 1836. وهو كتاب ساحر، فيه الكثير من المعلومات، ويسهل الوصول إليه (مع أنه قد نفدت طبعته منذ قرن أو أكثر)، وذلك بفضل موقع الشابكة غوغل. ترى علم الجيولوجيا فيه علمًا يفطن إلى خفايا الأمور، وتزيّن الكتاب أشعار بايرون، وولتر سكوت، وبرسيفال - وأحدها للسيدة هاويت، التي لها بيتان من الشعر تصوّر فيهما «بكثير من القوة والجمال» حيوانًا بحريًّا صدفيًّا لؤلؤيًّا. أما من الكتب المعاصرة ذات الروح القريبة من ذلك، فأنصح بشدة بكتاب مايكل ويلاند «الرمال» (Michael Welland. *Sand*)، طبع بمطبعة جامعة أكسفورد سنة 2008) - ويسرد فيه بطريقة جميلة القصة التي لا تنتهي أبدًا لهذه المادة الغنية المتنوعة.

وهناك كتب تشمل ما هو أوسع من النظر في الجسيمات الرسوبية، تتحدث عن الأرض التي أنجبت هذه الحصاة، وهي كتب تثقيفية ممتعة. واخترنا منها مجموعة متنوعة متواضعة؛ نذكر منها:

• Clarkson, E.N.K. & Upton, B. 2009. Death of an Ocean: A Geological Borders Ballad. Dunedin Academic Press.

• Fortey, Richard. 2005. Earth. Harper Perennial.

• Hardy, A. 1956. The Open Sea: Its natural history. Part 1. The world of plankton. Fontana New Naturalist.

• Kunzig, Robert. 2000. Mapping the Deep: the Extraordinary Story of Ocean Science, Sort Of Books.

• Levi, P. 1975. The Periodic Table. Penguin Classics.

• Lewis, C.L.E. & Kuell, S.J. (eds) 2001. The Age of the Earth: From 4004 BC to AD 2002. Geological Society, London.

• Nield, Ted. 2007. Supercontinent: Ten Billion Years in the Life of Our Planet. Granta Books.

• Osborne, Roger. 1999. The Floating Egg: Episodes in the Making of Geology. Pimlico.

• Palmer, D. & Rickards, B. (eds) 1991. Graptolites: writing in the rocks. Boydell Press, Woodbridge, Suffolk.

• Redfern, Martin. The Earth: A Very Short Introduction. Oxford University Press.

• Rhodes, F.T., Stone, R.O. & Malamud, B.D. 2008. Language of the Earth (2nd edition). Blackwell Publishing.

• Stow, Dorrik. 2010. Vanished Ocean: How Tethys Reshaped the World. Oxford University Press.

• Trewin, Nigel. 2008. Fossils Alive!: New Walks in an Old Field. Dunedin Academic Press.

• Weinberg, S. 1977. The first three minutes: a modern view of the origin of the Universe. Basic Books.

# مسرد المراجع

نذكر في هذا المسرد مجموعة مختارة من الكتب التقنية في هذا العلم - تتضمن الملاحظات، والتحليلات، والاستنتاجات التي اعتمدت عليها قصة هذه الحصاة. وهناك ما هو أكثر منها بكثير جدًّا؛ فعمق المعرفة الإنسانية المشتركة وتنوعها أمر عجيب مذهل، مثل أي شيء في عالم الطبيعة، وتعطي فكرة عن ذلك العالَم. وهي طبعًا فكرة تكاد تتوارى خلف الستور ينقصها الكمال؛ فهناك المزيد مما لم يكتشف بعد.

الفصل الأول:


• Ball, T.K., Davies, J.R., Waters, R.A. & Zalasiewicz, J.A. 1992. Geochemical discrimination of Silurian mudstones according to depositional process and provenance within the Southern Welsh Basin. Geological Magazine 129, 567-572.

• Dutch, S.I. 2005. Life (briefly) near a supernova. Journal of Geoscience Education 53, 27-30.

• Herbst, W. et al. 2008. Reflected light from sand grains in the terrestrial zone of a protoplanetary disk. Nature 452, 194-197.

• Russell, S. 2004. Stars in stones. Nature 428, 903-904.

الفصل الثاني:

• Jacobsen, S.B. 2003. How old is Planet Earth? Science 300, 1513-1514.

• Kiefer, W.S. 2008. Forming the martian great divide. Nature 453, 1191-1192.

• Lister, J. 2008. Structuring the inner core. Nature 454, 701-702.

• Murphy, J.B., Strachan, R.A., Nance, R.D., Parker, K.D. & Fowler, M.B. 2000. Proto-Avalonia: A 1.2-1.0 Ga tectonothermal event

and constraints for the evolution of Rodinia. Geology 28, 1071-1074.

• Priem, H.N.A. 1987. Isotopic tales of ancient continents. Geologie en Mijnbouw 66, 275-292.

• Widom, E. 2002. Ancient mantle in a modern plume. Nature 420, 281-282.

• Witze, A. 2006. The start of the world as we know it. Nature 442, 128-131.

• Wood, B.J., Walter, M.J. & Wade, J. 2006. Accretion of the Earth and segregation of its core. Nature 441, 825-833.

الفصل الثالث:

• Carrapa, B. 2010. Resolving tectonic problems by dating detrital minerals. Geology 38, 191-192.

• Merriman, R.J. 2002. The magma-to-mud cycle. Geology Today 18, 67-71.

• Morton, A.C., Davies, J.R. & Waters, R.A. 1992. Heavy minerals as a guide to turbidite provenance in the Lower Palaeozoic southern Welsh Basin; a pilot study. Geological Magazine 129, 573-580.

• Phillips, E.R. et al. 2003. Detrital Avalonian zircons in the Laurentian Southern Uplands terrain, Scotland. Geology 31, 625-628.

الفصل الرابع:

• Davies, J.R., Fletcher, C.J.N., Waters, R.A., Wilson, D., Woodhall, D.G. & Zalasiewicz, J.A. 1997. Geology of the country around Llanilar and Rhayader. Memoir of the British Geological Survey, Sheets 178 & 179 (England and Wales), xii þ 267 pp.

الفصل الخامس:

• Cave, R. 1979. Sedimentary environments of the basinal Llandovery of mid-Wales. In: Harris, A. L., Holland, C. H. & Leake, B. E., (eds) Caledonides of the British Isles: Reviewed. Geological Society, London. Special Publications 8, 517-526.

• Diaz, R.J.&Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science 321, 926-929.

• Jones, O.T. 1909. The Hartfell-Valentian succession in the district around Plynlimon and Pont Erwyd (North Cardiganshire). Quarterly Journal of the Geological Society, London 65, 463-537.

• Page, A., Zalasiewicz, J.A., Williams, M., & Popov, L.E. 2007. Were transgressive black shales a negative feedback modulating glacioeustasy in the Early Palaeozoic Icehouse? From:Williams, M., Haywood, A.M., Gregory, F.J. & Schmidt, D.N. (eds) Deep-Time Perspectives on Climate Change: Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies. The

Micropalaeontological Society, Special Publications. Geological Society, London, 123-156.

• Thornton, S.E. 1984. Basin model for hemipelagic sedimentation in a tectonically active continentalmargin: Santa Barbara Basin, California Continental Borderland. In: Stow, D.A.V. & Piper, D.J.W. (eds) Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies. Geological Society, London, Special Publication 15, 377-394.

الفصل السادس:

• Crowther, P.R. & Rickards, R.B. 1977. Cortical bandages and the graptolite zooid. Geology and Palaeontology, 11, 9-46.

• Katija, K. & Dabiri, J.O. 2009. A viscosity-enhanced mechanism for biogenic ocean mixing. Nature 460, 624-626.

• Lapworth, C. 1878. The Moffat Series. Quarterly Journal of the Geological Society, London 34, 240-346.

• Loydell, D.K. 1992-93. Upper Aeronian and lower Telychian (Llandovery) graptolites from western mid-Wales. The Palaeontographical Society, London, Publ. 589 for vol. 146 (1992), 1-55; publ. 592 for vol. 147 (1993), 56-180.

• Molyneux, S.G. 1990. Advances and problems in Ordovician palynology of England & Wales. Journal of the Geological Society, London 147, 615-618.

• Paris, F. & Nõlvak, J. 1999. Biological interpretation and paleobiodiversity of a cryptic fossil group: the ‘chitinozoan animal’. Geobios 32, 315-324.

• Rickards, R.B., Hutt, J.E. & Berry, W.B.N. 1977. Evolution of the Silurian and Devonian

graptoloids. Bulletin of the British Museum (Natural History) Geology 28, 1-120, pls 1-6.

• Rushton, A.W.A. 2001. The use of graptolites in the stratigraphy of the Southern Uplands: Peach's legacy. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 91, 341-347.

• Sudbury, M. 1958. Triangulate monograptids from the Monograptus gregarious Zone (lower Llandovery) of the Rheidol Gorge (Cardiganshire). Philosophical Transactions of the Royal Society of London B241, 485-555.

• Underwood, C.J. 1993. The position of graptolites within Lower Palaeozoic planktic ecosystems. Lethaia 26, 189-202.

• Zalasiewicz, J.A. 2001. Graptolites as constraints on models of sedimentation across Iapetus: a review. Proceedings of the Geologists' Association 112, 237-251.

• Zalasiewicz, J.A., Taylor, L., Rushton, A.W.A., Loydell, D.K., Rickards, R.B. & Williams, M. 2009. Graptolites in British stratigraphy. Geological Magazine 146, 785-850.

الفصل السابع:

• Armstrong, H.A. et al. 2009. Black shale deposition in an Upper Ordovician-Silurian permanently stratified, peri-glacial basin, southern Jordan. Palaeogeography, Palaeoclimatalogy, Palaeoecology 273, 368-377.

• Bates, D.E.B. & Loydell, D.K. 2003. Parasitism on graptoloid colonies. Palaeontology 43, 1143-1151.

• Brenchley, P.J. et al. 1994. Bathymetric and isotopic evidence for a short-lived late

Ordovician glaciation in a greenhouse period. Geology 22, 295-298.

• Loydell, D.K., Zalasiewicz, J.A. & Cave, R. 1998. Predation on graptolites: new evidence from the Silurian of Wales. Palaeontology 41, 423-427.

• Selby, A. & Creaser, R.A. 2005. Direct dating of the Devonian-Mississippian timescale boundary using the Re-Os black shale geochronometer. Geology 33, 545-548.

الفصل الثامن:

• Chopey-Jones, A., Williams, M. & Zalasiewicz, J.A. 2003. Biostratigraphy, palaeobiogeography and morphology of the Llandovery graptolites Campograptus lobiferus (M’Coy) and Campograptus harpago (Törnquist). Scottish Journal of Geology 39, 71-85.

• Cocks, L.R.M. & Fortey, R.A. 1982. Faunal evidence for oceanic separations in the Paleozoic of Britain. Journal of the Geological Society, London 139, 465-478.

• Cocks, L.R.M. & Torsvik, T.H. 2002. Earth geography from 500 to 400 million years ago: A faunal and palaeomagnetic review. Journal of the Geological Society of London 159, 631-644.

• Dunlop, D.J. 2007. A more ancient shield. Nature 446, 623-625.

• Olsen, P. 2009. Tectonics at the Earth's core. Nature Geoscience 2, 379-380.

• Vandenbroucke, T.R.A. et al. 2009. Ground-truthing Late Ordovician climate models using the palaeobiogeography of graptolites. Palaeoceanography 24, PA4202, doi:10.1029/2008PA001720.

• Wilson, D., Davies, J.R., Waters, R.A. & Zalasiewicz, J.A. 1992. A faultcontrolled depositional model for the Aberystwyth Grits turbidite system. Geological Magazine 129, 595-607.

الفصل التاسع:

• Bjerreskov, M. 1991. Pyrite in Silurian graptolites from Bornholm, Denmark. Lethaia 24, 351-361.

• Nealson, K.H. 2010. Sediment reactions defy dogma. Nature 463, 1033-1034.

• Raiswell, R. & Berner, R.A. 1985. Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments. American Journal of Science 285 (8), 710-724.

• Smith, R. 1987. Early diagenetic phosphate cements in a turbidite basin. Geological Society of London, Special Publications 36, 141-156.

الفصل العاشر:

• Evans, J.A., Zalasiewicz, J.A., Fletcher, I., Rasmussen, B. & Pearce, N.G. 2002. Dating diagenetic monazite in mudrocks: constraining the oil window? Journal of the Geological Society of London 159, 619-622.

• Evans, J.A., Zalasiewicz, J.A.&Chopey-Jones, A. 2008. The effect of smalland large-scale facies architecture of turbiditemudrocks on the behavior of isotope systems during diagenesis. Sedimentology 56, 863-872.

• Evans, J.A. & Zalasiewicz, J.A. 1996. U-Pb, Pb-Pb and Sm-Nd dating of authigenic monazite: implications for the diagenetic evolution of the Welsh Basin. Earth and Planetary Science Letters 144, 421-433.

• Milodowski, A.E. and Zalasiewicz, J.A. 1991. Redistribution of rare earth elements during diagenesis of turbidite/hemipelagite mudrock sequences of Llandovery age from

central Wales. In: Morton, A.C., Todd, S.P.& Houghton, P.D. (eds) Developments in Sedimentary Provenance Studies. Geological Society, London. Special Publications 57, 101-124.

• Williams, S.H., Burden, E.T. & Mukhopadhyay, P.K. 1998. Thermal maturity and burial history of Paleozoic rocks in western Newfoundland. Canadian Journal of Earth Sciences 35, 1307-1322.

• Zalasiewicz, J.A. & Evans, J. 1998. The Amazing Mud Factory. Chemistry in Britain 12, 21-24.

الفصل الحادي عشر:

• Milodowski, A.E. and Zalasiewicz, J.A. 1991. The origin and sedimentary, diagenetic and metamorphic evolution of chlorite-mica stacks in Llandovery sediments in central Wales, UK Geological Magazine 128, 263-278.

• Page, A.A., Gabbott, S.E., Wilby, P.R. & Zalasiewicz, J.A. 2008.

• Ubiquitous Burgess-Shale-style "clay templates" in low-grade metamorphic mudrocks. Geology 36, 855-858.

• Sherlock, S.C., Zalasiewicz, J.A., Kelley, S.P. & Evans, J. 2008. Excess 40Ar uptake during slate formation: a 40Ar/39Ar UV laserprobe study of muscovite strain-fringes from the Palaeozoic Welsh Basin, UK. Chemical Geology 257, 206-220.

• Wilby, P.R. et al. 2006. Syntectonic monazite in low-grade mudrocks: a potential geochronometer for cleavage formation? Journal of the Geological Society 163, 1-4.

• Woodcock, N.H., Soper, N.J. & Strachan, R.A. 2007. A Rheic cause for the Acadian deformation in Europe. Journal of the Geological Society 164, 1023-1036.

• Sherlock, S.C., et al. 2003. Precise dating of low-temperature deformation: strain-fringe dating by Ar/Ar laserprobe. Geology 31, 219-22.

الفصل الثاني عشر:

• Bevins, R. 1994. A mineralogy of Wales. University of Wales Press.

• Okamoto, A. & Tsuchiya, N. 2009. Velocity of vertical fluid ascent within vein-forming fractures. Geology 37, 563-566.

# معجم المصطلحات

مرتبة بحسب ترتيب الحروف الإنكليزية

| المصطلح باللغة الإنكليزية | مرادفه باللغة العربية |
|---|---|
| **A** | |
| acritarchs | الأكريتاركات |
| alkanes | الألكانات |
| aluminium | الألمنيوم |
| amorphous organic matter | المادة العضوية غير المتبلورة |

| | |
|---|---|
| anoxia | العوز للأكسجين |
| Antarctica | القارة القطبية الجنوبية |
| antimatter | ضد المادة |
| apatite | الأباتيت |
| argon | الأرغون |
| arrow worms | الديدان السهمية |
| asteroids | الكويكبات |
| Avalonia | أفالونيا |

B

| | |
|---|---|
| Baltica | بلطيقيا |
| barite | الباريت |
| beach | الشاطئ |
| benzene | البنزين |
| beryllium | البيريليوم |
| Big Bang | الانفجار العظيم |
| Black Sea | البحر الأسود |
| bromoform | البروموفورم |
| Bronze Age | العصر البرونزي |

| | |
|---|---|
| Brownian motion | الحركة البراونية |
| burrows | الجحور |
| butane | البوتان |
| C | |
| caesium | السيزيوم |
| calcite | الكالسيت |
| calcium carbonate | كربونات الكالسيوم |
| carbon | الكربون |
| carbon sequestration | تخزين الكربون |

| | |
|---|---|
| carbon dioxide | ثاني أكسيد الكربون |
| Cat’s Eye | عين القط |
| cerium | السيريوم |
| chalcopyrite | الكالكوبيريت |
| chitin | الكيتين |
| chitinozoans | الكيتينيات؛ الكيتينات |
| chloride | الكلوريد |
| chondrules | الحبيبات الكوندرية |
| clathrate (methane hydrate) | الكلَاثَرات (هيدرات الميثان) |

| | |
|---|---|
| clay | الغضار؛ الصلصال |
| cleavage (tectonic/slaty) | انفصام (تكتوني أو إردوازي) |
| climate | المناخ |
| coccolithophores | حاملات الكوكولِث |
| comb jellies | المشطيات |
| copper | النحاس |
| continents | القارات (كتل اليابسة) |
| copepods | مجذافيات الأرجل |

| | |
|---|---|
| core, Earth's | نواة الأرض |
| cosmic dust | الغبار النجمي |
| cosmic microwave background | خلفية الأمواج الميكروية الكونية (ماضي الأمواج الميكروية الكونية) |
| cosmic rays | الإشعاعات الكونية (الأشعة الكونية) |
| Crab Nebula | سديم السرطان |
| cycloalkanes | الألكانات الحلقية |
| cytoplasm | السيتوبلازما |

D

| | |
|---|---|
| dark energy | الطاقة المظلمة |

dark matter المادة المظلمة

dead zones المناطق الميتة

diamond الألماس

diatoms الدياتومات؛ المشطورات

diffusion الانتشار

dinoflagellates ذوات السوطين

dysprosium الديسبروزيوم

E

earthquakes الهزات الأرضية؛ الزلازل

electron microprobe | المسبر الإلكتروني

ethane | الإيثان

Euglena | اليوغلينا

euphasiids | اليوفسيدات

europium | اليوروبيوم

F

feldspar | الفلسبار

ferropericlase | الفيروبريكليس

field geology | الجيولوجيا الحقلية (الجيولوجيا الميدانية)

filter-feeders المتغذيات بالترشيح

flute casts أشكال الطابع البوقي

folds (tectonic) طيات (تكتونية)

fossil zones مناطق الأحافير

framboids الفرامبويدات (الأُطَيْرات)

G

gadolinium الغادولينيوم

galena الغالينا

garnet الغارنيت (العقيق)

gas (petroleum) (الغاز (النفطي

glaciation انتشار الجليد؛ التجلد

goethite الغوتيت

gold الذهب

graptolites الغرابتوليتات

gromiid الغروميد؛ الغروميد

gypsum الجص؛ الجبس

H

hafnium الهافنيوم

| | |
|---|---|
| half-graben | نصف خسف |
| heavy minerals | الفلزات الثقيلة (المعادن الثقيلة) |
| helium | الهيليوم |
| hydrocarbon seep | رشح هيدروكربوني |
| hydrogen | الهيدروجين |
| hydrogen sulphide | كبريتيد الهيدروجين |

I

| | |
|---|---|
| Iapetus Ocean | بحر إيابيتوس (محيط إيابيتوس) |

| | |
|---|---|
| Ice Age | العصر الجليدي |
| illite | الإيليت |
| iridium | الإيريديوم |
| iron catastrophe | كارثة الحديد |
| isochron | خط تساوي الزمن الجيولوجي الأيزوكرون)) |
| isorenieratane | الإيزورينيراتين |
| isotopes | النظائر |
| isotope excursions | رحلات النظائر |

J

jellyfish قنديل البحر

joints فوالق

K

komatiites الكوماتييت، الكوماتيت

Komodo dragons تنِّينات كومودو

krill الكريليات

L

lanthanum اللانثانوم

| | |
|---|---|
| laser | الليزر |
| Laurentia | لورانشيا |
| Laurentide ice sheet | غطاء لوران الجليدي |
| lead | الرصاص |
| lichenometry | ساعة الأشنيات |
| lithium | الليثيوم |
| lodestone | حجر المغناطيس |
| longshore drift | تيار ساحلي (انجراف شاطئي) |
| lutetium | اللوتيشيوم |

# M

| | |
|---|---|
| magma chamber | حجرة الصهارة (خزان الماغما) |
| magnetic declination | الانحراف المغناطيسي |
| magnetic field | الحقل المغناطيسي |
| magnetite | المغناطيت |
| mantle (Earth’s) | الوشاح الأرضي |
| mantle plumes | أعمدة الوشاح (انبثاقات الوشاح) |
| marine snow | الثلج البحري |
| Mars | المريخ |

| | |
|---|---|
| mass spectrometer | مطياف الكتلة |
| meteorite | نيزك |
| methane | الميثان |
| mica | الميكا |
| microbes | الميكروبات |
| microbial mats | بُسُط الميكروبات (فُرُش الميكروبات) |
| Mirovia | ميروفيا |
| mole | المول |
| monazite | المونازيت |

Moon القمر

morphospecies الأنواع الحية المتشاكلة

Moyeria المويريا

mud الطين؛ الوحل

N

naupliids النوبليدات

neodymium النيوديميوم

neodymium model age عمر نموذج النيوديميوم

| | |
|---|---|
| nepheloid plumes | تصعّدات الكدارة |
| O | |
| ocean crust | قشرة المحيط |
| oil | النفط |
| oil reservoir | خزان نفط |
| oil window | نافذة النفط |
| Oort Cloud | سحابة أورت؛ سحابة أورط |
| Open Sea, The | البحر المفتوح |
| optically stimulated luminescence | الاستضاءة المحفّزة بصريًّا |

P

| | |
|---|---|
| palynologists | علماء غبار الطلع<br>اختصاصيو غبار الطلع)) |
| pandemics | جوائح (أوبئة) |
| parasites | طفيليات |
| periodic table | الجدول الدوري للعناصر |
| permafrost | أرض دائمة التجمد |
| perovskite | البيروفسكيت |
| phosphorus | الفوسفور |
| planetesimals | كويكبات |

| | |
|---|---|
| plankton | العوالق |
| plate tectonics | الصفائح التكتونية |
| platinum | البلاتين |
| plutonium | البلوتونيوم |
| polarized light | ضوء مستقطَب |
| Pollen | غبار الطلع |
| post-perovskite | البوست بيروفسكيت |
| Potassium | البوتاسيوم |
| predators | المفترسات (اللواحم) |

pressure shadow ظل الضغط

promethium البروميثيوم

propane البروبان

pseudochitin شبه الكيتين

pterobranch جناحيات الغلاصم

pteropods مجنحات الأرجل

pyrite البيريت

Q

quartz الكوارتز

R

| | |
|---|---|
| radiolaria | الشعاعيات |
| rare earth elements | عناصر الأتربة النادرة |
| red giant | العملاق الأحمر |
| Red Spider | العنكبوت الأحمر |
| redox boundary | حدّ الأكسدة والاختزال |
| residence time | زمن البقاء |
| Rheic Ocean | بحر رِيا |
| rhenium | الرينيوم |

| | |
|---|---|
| Richter scale | مقياس ريختر |
| ringwoodite | الرينغوديت |
| Rodinia | رودينيا |
| rubidium | الروبيديوم |
| rutile | الروتيل |

S

| | |
|---|---|
| samarium | الساماريوم |
| sand | الرمل |

| | |
|---|---|
| scanning electron microscope | مجهر المسح الإلكتروني |
| selenite | السيلانيت |
| seismograph | مقياس الزلازل |
| Siamese Squid | الحبار السيامي |
| silica | السليكا |
| silicon | السليكون |
| silver | الفضة |
| slate | الإردواز (السِّجِّيل) |
| slugs (of oil) | القطرات الثقيلة من النفط (القُطارة من النفط) |

smectite السمكتيت

sodium الصوديوم

Solar System النظام الشمسي

solar wind الرياح الشمسية

species الأنواع الحية (الكائنات الحية)

sphalerite السفاليريت

storm عاصفة

storm ebb surge عُرَام انحسار العاصفة

strontium الاسترونشيوم

| | |
|---|---|
| subduction zone | منطقة الاندساس |
| sulphate | الكبريتات |
| sulphide | الكبريتيد |
| superconductors | الموصلات الفائقة (النواقل الفائقة) |
| Sun | الشمس |
| supernova | مستعر أعظم |

T

| | |
|---|---|
| tempestite | التمبستيت (قرارة العاصفة) |
| Theia | ثيا |

| | |
|---|---|
| thin sections | شرائح رقيقة |
| tides | أمواج المد (أمواج المد والجزر) |
| trilobites | ثلاثيات الفصوص |
| turbidite | العكارة |
| turbidite fan | مروحة العكارة |
| turbidity currents | تيارات العكارة |
| Tyrannosaurus rex | التيرانوصور |

U

| | |
|---|---|
| uniformitarianism | مذهب الوتيرة الواحدة |

uranium اليورانيوم

V

vacuum الفراغ؛ الخلاء

veins (mineral) العروق الفلزية ( العروق المعدنية)

vertical migrations هجرات عمودية

viruses الفيروسات

W

waves الأمواج

| | |
|---|---|
| white dwarf | القزم الأبيض |
| worms | الديدان |
| X | |
| X-Ray fluorescence spectrometer | مطياف الأشعة السينية التألقية |
| X-rays | الأشعة السينية |
| Y | |
| ytterbium | الإيتربيوم |
| Z | |
| zinc | الزنك |

1. يشير الكاتب إلى الخرافة الرائجة في العالم الغربي في التشاؤم بالرقم 13 أينما حل. [المترجمة] ↑

2. mole بالإنجليزية تعني الخلد، وهو حيوان فروي صغير رباعي يحفر الجحور، وتعني أيضًا الشامة أو الخال [المترجمة]. ↑

3. يمكن للمرء أن يحسبها - أي باستخدام السكاكر. فحجم القمر يبلغ حوالي 20 ألف مليون كيلومتر مكعب (كما حسبه بعض الفلكيين طويلي الأناة)، وكل كيلومتر مكعب يحتوي مليون مليون لتر - واللتر هو سعة مكيال السوائل في المطبخ، ويمكن أن يسع 50 قطعة من السكاكر داخله. وهذه الأرقام إذا ضرب بعضها ببعض فستصل محصلتها إلى نحو مليون مليون مليون مليون، أو ما هو قريب من عدد الذرات نفسه في حصاتنا. ↑

4. على الأقل في ما يتعلّق بالمادّة المتعارف عليها. فالكون، جملةً، يتصرف وكأن غالبه مكوّن من أشياء أخرى غامضة: إحداها ما ندعوه «الطاقة المظلمة»، تدفعه إلى التوسّع من جهة، وهناك ما ندعوه «المادّة المظلمة» التي تجذب أجزاءه بعضها إلى بعض من جهة أخرى. والحصاة في هذا المستوى

شيء تافه، وكذلك حال كل الذرات الأخرى (تقريبًا) المألوفة في الكون. ↑

5. تتألف نواة الهيدروجين من بروتون واحد. وتتألف نواة الدوتيريوم من بروتون ونيوترون. وتتألف نواة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين. [المترجمة] ↑

6. درجة الصفر المطلق: (أو صفر كالْفِن) تساوي تقريبًا -273 درجة مئوية. [المترجمة] ↑

7. المستعر الأعظم: أو السوبر نوفا؛ نجم ضخم ينفجر فيكوِّن سحابة كروية ساطعة حول النجم، وتنتشر طاقة الانفجار في الفضاء، أما جوف النجم فينهار على نفسه باتجاه المركز؛ ويتحوّل النجم إلى قزم أبيض (نجم بحجم كوكب ذي كثافة عالية جدًّا)، أو إلى نجم نيوتروني (جرم سماوي يبلغ قطره نحو 20 كيلومترًا ويكون ذا كثافة عالية جدًّا من النيوترونات)، أو إلى ثقب أسود (منطقة في السماء ذات كثافة هائلة لها جاذبية لا يستطيع الضوء الإفلات منها وتزيد كتلته على مليون الشمس). ويتوقّف نوع هذا التحوّل على كتلة النجم. [المترجمة] ↑

8. المقراب أو التلسكوب آلة تجمع الضوء فتكوِّن صورًا مقرّبة للأجرام السماوية. أما المطياف (spectroscope) فجهاز يفصل الأمواج الضوئية ذات الأطوال الموجية المختلفة عن بعضها بعضًا. [المترجمة] ↑

9. مصدر كوني للطاقة الكهرمغنطيسية (ومنها الضوء) يمكنه أن يصدر طاقة تعادل ما تبثه مئات المجرّات المتوسّطة مجتمعةً، كما يمكن تسميته النجم القاصي: لبعده الشديد عن أرضنا، وكأنه على أطراف الكون. [المترجمة] ↑

10. وهي سحابة ،(Oort) نسبةً إلى الفلكي الهولندي يان أُورْت كروية هائلة تحيط بالنظام الشمسي، وتعد حدودها الخارجية الحدود الخارجية لنظامنا الشمسي. [المترجمة] ↑

11. الوشاح (أو الغشاء أو الدِّثار أو الغطاء): هو الطبقة الوسطى من طبقات الأرض الرئيسة الثلاث؛ وسماكتها حوالي 3000 كيلومتر. تعلوها طبقة القشرة؛ وسماكتها حوالي 50 كيلومترًا. وأدنى الوشاح تقع طبقة النواة؛ ونصف قطرها حوالي 3500 كيلومتر. [المترجمة] ↑

12. Theia: جرم كوكبي افتراضي اصطدم بالأرض وفقًا لفرضية الاصطدام الهائل؛ الذي يفترض أنه حصل قبل نحو 4.31 مليار سنة. وتفترض هذه النظرية أن القمر نشأ من هذا الاصطدام أيضًا. والاسم مأخوذ من أساطير اليونان التي تتحدث عن إلاهة اسمها ثيا؛ أمَّ آلهة القمر عندهم. [المترجمة] ↑

13. وللمقارنة، فلعل المريخ يحتوي آثار تصادم بالشدّة نفسها تقريبًا، حيث يُعزى انقسام كرته إلى «مرتفعات» صخرية في نصفه الجنوبي و«منخفضات» ناعمة مسطحة في نصفه الشمالي، إلى تصادم عظيم مشابه في بداية عمر نظامنا

الشمسي - ولا يزال ذلك مثار جدل. وهذا الأمر يفترض أن التصادم لم يكن كبيرًا بما يكفي لإذابة الكوكب وتغيير شكله، إلا أنه ترك - بحسب بعض الباحثين - فوّهة ناجمة عن التصادم تغطي فعليًّا نصف الكوكب، وما زالت تمثل نمطه الجغرافي الغالب اليوم. ↑

14. الصفائح التكتونية: نظرية تقول بوجود صفائح بنيوية في قشرة الأرض؛ عددها سبع أو ثماني صفائح؛ تتحرّك حركة جانبية نسبية بسرعة تتراوح بين الصفر و10 سنتيمترات سنويًّا؛ وعلى حدودها تحدث الزلازل، وتنشط البراكين، وترتفع جبال اليابسة، وتنشق أخاديد البحر؛ كما في منطقة الحزام الناري التي تنسحب على غربي الأمريكيتين وشرقي آسيا. [المترجمة] ↑

15. الجوّ وحدة لقياس الضغط الجوي تساوي متوسط الضغط الجوي على الأرض عند مستوى سطح البحر. وتبلغ نحو بار واحد أو 760 مليمتر زئبقي. وكلما زاد الارتفاع عن سطح البحر انخفض الضغط الجوي، والعكس بالعكس. [المترجمة] ↑

16. البيروفسكيت: معدن من أكاسيد الكالسيوم والتيتانيوم؛ وقد اكتشف في جبال الأورال في روسيا في القرن التاسع عشر. والرينغوديت معدن من أكاسيد السليكون والمغنزييوم، ويتشكل على عمق يتراوح بين 525 كيلومترًا و660 كيلومترًا، ويمكن أن يحتوي في بنيته شوارد مائية. أما الفيروبريكليس، فهو معدن من أكاسيد الحديد والمغنيزيوم،

ويعتقد أنه أحد المكوّنات الرئيسة في الوشاح الأدنى للأرض، ويمكن العثور عليه في بعض أحجار الألماس الطبيعية. [المترجمة] ↑

17. يبدأ السلم الزمني الجيولوجي منذ نشأة الأرض المفترضة قبل 4600 مليون سنة. حيث يقسم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى مجموعات، أكبرها الدهر؛ وهما دهران: دهر الحياة الخافية (ويدعى كذلك بعصر ما قبل الكامبري)، ودهر الحياة الظاهرة. وفي كل دهر حقب؛ ففي دهر الحياة الظاهرة ثلاث حقب: حقبة الحياة القديمة، وحقبة الحياة المتوسطة، وحقبة الحياة الحديثة. وفي كل حقبة عصور؛ ففي حقبة الحياة القديمة ستة عصور: من الكامبري إلى الأردوفيشي إلى السيلوري إلى الديفوني إلى الكربوني إلى البرمي. وفي حقبة الحياة المتوسطة ثلاثة عصور: الترياسي، والجوراسي، والكريتاسي؛ وهي عصور الديناصورات. وفي حقبة الحياة الحديثة عصران: الثلاثي، والرباعي. وتنقسم العصور إلى فترات، ونحن اليوم في فترة الهولوسين (أو الفترة الحديثة) من العصر الرباعي، وقد مضى عليها نحو 11.700 سنة من الآن. [المترجمة] ↑

18. الدرع الكندي: درع جيولوجي يشكل نواة الركيزة القارية لأمريكا الشمالية؛ ويمتد في منطقة تتألف في معظمها من الصخور البركانية النارية؛ وتغطي أكثر من نصف مساحة كندا. [المترجمة] ↑

19. أفالونيا: القارة التي يعتقد أنها كانت بين جنوب غرب بريطانيا وشرق كندا. [المترجمة] ↑

20. مذهب الوتيرة الواحدة: مذهب يقوم على أن القوانين والآليات الطبيعية التي تعمل في الفضاء الكوني اليوم، هي نفسها ما كانت عليه في أي زمان مضى، وفي أي مكان من الكون. [المترجمة] ↑

21. وهناك أيضًا جدال آخر بشأن إنْ كانت هذه العوالق قد مزجت بفعالية مياه المحيط بنفسها، بضرب مجساتها أو أسواطها معًا. إنها فكرة جميلة، وبحسب الأبحاث الأخيرة، فلعل هناك بعض الحقيقة في ذلك. ↑

22. فيلم سينمائي (Groundhog Day): فيلم عيد فأر الحقل يحكي قصة متنبئ بالأرصاد الجوية يجد نفسه يعيد يومه مرارًا وتكرارًا في كل أيامه على نحو لا يمكن تفسيره. وكان يومه ذاك يوم عيد فأر الحقل؛ الذي يحتفل به في أمريكا وكندا يوم 2 شباط/فبراير من كل عام. [المترجمة] ↑

23. قارة غوندوانا: قارة عملاقة يعتقد أنها كانت تضم معظم قارات القسم الجنوبي من الأرض، من أمريكا الجنوبية إلى إفريقيا وشبه الجزيرة العربية والهند وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية وغيرها. ويمتد عمرها من العصر الكربوني إلى العصر الجوراسي. والاسم مأخوذ من اسم إقليم يقع وسط الهند. [المترجمة] ↑

# Table of Contents